



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Análisis hidrológico del río Pas en el entorno de la estación de Mogro

Trabajo realizado por:

Fernando Merino Martínez

Dirigido:

Manuel del Jesus Peñil

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Mención:

Hidrología

Santander, Julio de 2021

TRABAJO FIN DE GRADO

Resumen

Título: Análisis hidrológico del río Pas en el entorno de la estación de Mogro
Autor: Fernando Merino Martínez
Director: Manuel del Jesus Peñil
Convocatoria: Julio 2021
Palabras clave: Pas, Mogro, avenida, ferrocarril, inundación, cambio climático, modelo hidrológico

La combinación de factores como las crecidas del río Pas provocadas por precipitaciones extremas, la gran variabilidad de la marea, y la propia orografía de la zona, hace que la llanura que se extiende entre los municipios de Miengo y Piélagos, en el norte de Cantabria, sufra inundaciones significativas con cierta frecuencia. Este tipo de fenómenos afectan a la zona de múltiples maneras. Uno de los grandes perjudicados es la línea de ferrocarril de vía estrecha que une Santander con Oviedo, atravesando de este a oeste esta llanura, que padece las consecuencias de estos eventos de inundación de primera mano, dando lugar a graves alteraciones en el servicio regular de pasajeros y mercancías. Para hacer la situación aún más preocupante, el incipiente cambio climático hará en el medio y largo plazo que las crecidas del río Pas sean más frecuentes y de mayor magnitud, lo que obliga a tomar medidas para tratar de mitigar este problema.

Este estudio tiene por finalidad proporcionar los parámetros necesarios para el rediseño de la línea Santander-Oviedo entre las estaciones de Boo de Piélagos y Mogro. Aunque se llevará a cabo una modificación de las características actuales de la línea en el tramo Mompía-Mogro, son de interés para este estudio los datos relativos a los aspectos de drenaje -tanto longitudinal como transversal- en el subtramo que une las dos estaciones mencionadas. Para su diseño, es necesario obtener los caudales máximos para períodos de retorno de 50, 100, 300 y 500 años, y la cota de la lámina del agua para un período de retorno de 300 años. Por ello, en este trabajo se han obtenido estos parámetros tanto para la situación actual como para la situación que tendrá lugar en el medio-largo plazo (en el entorno 2041-2070), a fin de tener en cuenta los efectos del cambio climático en la región.

El río Pas es uno de los principales ríos de la cuenca cantábrica, con una longitud de 61 kilómetros y una cuenca con una extensión de 661 km², en la que destacan, además del propio Pas, los ríos Pisueña y Luena. Se trata de una zona de clima suave y precipitaciones abundantes durante todo el año, especialmente en los meses más fríos, en los que se pueden producir episodios devastadores, como los que sacudieron la zona en los inviernos de 2014 y 2019, por ejemplo.

Para determinar la respuesta hidrológica del río Pas, se ha creado en un modelo de la cuenca vertiente de dicho río en el programa HEC-HMS, con el que se han obtenido los caudales máximos para los distintos períodos de retorno, para la situación actual y para la situación futura. El modelo meteorológico se ha construido a partir de información del Ministerio de Fomento de España. Se ha empleado el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos para las pérdidas por escorrentía, el método de Clark para transformar la precipitación neta en caudal, y el método de Muskingum para el tránsito de hidrogramas. Los datos adaptados al cambio climático se han obtenido de la Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España (AdapteCCa), del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

Se ha creado, además, un modelo en el programa HEC-RAS, en este caso para obtener las cotas de la superficie libre del agua. Se necesita la altura de la lámina de agua aguas arriba de la intersección del río Pas con la línea de ferrocarril, por lo que el modelo incluye el tramo del río próximo a este punto, con una longitud de aproximadamente 3 kilómetros repartidos aguas arriba y aguas abajo de dicha sección.

El modelo de HEC-HMS ha dado como resultado, para la simulación de la situación actual, unos caudales máximos de 508,6, 580,3, 701,0 y 777,2 m³/s para los períodos de retorno de 50, 100, 300 y 500 años, respectivamente. Para la simulación en el período 2041-2070, incluyendo los efectos del cambio climático, se han obtenido unos caudales máximos de 523,1, 597,3, 722,1 y 800,8 m³/s a 50, 100, 300 y 500 años, respectivamente.

En cuanto a la lámina del agua, los valores para la actualidad y el futuro no difieren tanto. Se ha obtenido, para el caudal de 300 años de período de retorno, una cota de la superficie libre aguas arriba de la intersección entre el ferrocarril y el río de 3,72 metros en la situación actual, y de 3,75 metros en la situación futura, incluyendo el efecto del cambio climático.

Se proporcionan, además, una serie de datos adicionales que pueden ser de interés para el análisis hidráulico de la zona en general, y para el mencionado proyecto de rediseño de la línea ferroviaria en particular.

Abstract

Title: Análisis hidrológico del río Pas en el entorno de la estación de Mogro
Author: Fernando Merino Martínez
Director: Manuel del Jesus Peñil
Call: Julio 2021
Key Words: Pas, Mogro, flood, railway, flooding, climate change, hydrological model

The combination of elements such as the swellings of the Pas River caused by extreme precipitation events, the great variability of the astronomical tide, and the orography of the site itself, gives rise to frequent and significant floods in the plain that extends between the Miengo and Piélagos municipalities, in Northern Cantabria. This kind of phenomena affect the area in multiple ways. The narrow-gauge railway line that connects Santander and Oviedo, which crosses this plain from east to west, experiences first-hand the consequences of these flood events, giving rise to serious disruptions in the regular transport of passengers and goods. To make the situation even more worrying, the emerging climate change will make the swellings of the Pas River larger and more frequent in the medium and long term, which makes it necessary to take additional measures that try to mitigate this issue.

The purpose of this study is to provide the parameters that are required for the redesign of the Santander-Oviedo line between the Boo de Piélagos and Mogro stations. Although the modification of the current infrastructure will be carried out in the section Mompía-Mogro, the focus of this study is on the data relative to the drainage -both longitudinal and transversal- of the sub-section connecting the aforementioned stations. The drainage design requires the maximum river discharge for return periods of 50, 100, 300 and 500 years, and the free surface level for a return period of 300 years. Consequently, these parameters have been obtained in this study for both the current situation and the medium-long term situation (in the range 2041-2070), which takes into account the potential effects of climate change in the region.

The Pas River is one of the main rivers in the Cantabrian basin, having a 61-kilometer length and a 661 km² basin in which, in addition to the Pas itself, the Pisueña and Luena Rivers stand out. The region has a mild climate and abundant rainfall throughout the year, especially from late fall to early spring, period in which devastating flooding events can take place, such as those that affected the area in the winters of 2014 and 2019, for instance.

In order to determine the hydrological response of the Pas River, a model of the river basin has been created in HEC-HMS, which has been used to obtain the maximum discharges for each return period, for the current and future situations. The meteorological model has been developed with information from the Spanish Public Works Ministry. The Soil Conservation Service curve number method has been used to compute runoff losses, Clark's method has been used to transform net precipitation into discharge, and Muskingum's method has been chosen for flood routing. The data adapted to climate change have been retrieved from the Platform on Adaptation to Climate Change in Spain (AdapteCCa), which belongs to the Ministry of Ecological Transition and Demographic Challenge.

Besides, another model has been created in HEC-RAS, in this case to determine the water surface levels in the cross-section of interest. As it has been mentioned, for the drainage design it is necessary to determine the free surface level upstream of the crossing between the Pas River and the railway line, so the HEC-RAS model includes the section of the river that is close to this point, having a total length of approximately 3 kilometers distributed both upstream and downstream of that location of interest.

The HEC-HMS model has estimated, for the simulation of the current situation, maximum river discharges of 508.6, 580.3, 701.0 and 777.2 m³/s for a return period of 50, 100, 300 and 500 years, respectively. For the simulation of the 2041-2070 period, which takes into account the effects of climate change, the maximum river discharges were 523.1, 597.3, 722.1 and 800.8 m³/s for a return period of 50, 100, 300 and 500 years, respectively.

Regarding the free surface, there is not such a noticeable difference between the results of the current and future situation simulations. A water surface level of 3.72 meters has been obtained upstream of the crossing between the railway and the river for the current 300-year-return-period river discharge, and a free surface level of 3.75 meters for the future situation, including the potential effects of climate change.

The study also includes a range of additional data that may be of interest for both the hydraulic analysis of the area and for the railway line redesign project that has been previously mentioned.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	11
2. 1. Localización geográfica	11
2. 2. La cuenca del Pas	12
2. 3. El río Pas	13
2. 4. Alteraciones del cauce	14
2. 5. Climatología	15
2. 6. Sección de interés del río.....	16
3. FUENTES DE INFORMACIÓN	18
3. 1. Documentación cartográfica.....	18
3. 1. 1. Documentación cartográfica de la zona de estudio	18
3. 1. 2. Usos del suelo	19
3. 1. 3. Cartografía geológica	19
3. 2. Datos climáticos	20
3. 2. 1. Datos históricos de precipitación	20
3. 2. 1. Datos de precipitación futuros	20
4. METODOLOGÍA	21
4. 1. Puesta en marcha del modelo de HEC-HMS.....	22
4. 1. 1. Delimitación de las subcuencas	22
4. 2. Método de pérdidas.....	23
4. 2. 1. Método del número de curva	23
4. 2. 2. Determinación de los números de curva.....	24
4. 2. 2. 1. Pendiente del terreno	24
4. 2. 2. 2. Características hidrológicas	25
4. 2. 2. 3. Tipos de suelo	25
4. 2. 2. 4. Usos del suelo	26
4. 2. 2. 5. Asignación del número de curva.....	28
4. 3. Precipitaciones diarias máximas	29
4. 3. 1. Descripción del método	29
4. 3. 2. Determinación de los periodos de retorno	29
4. 3. 3. Cálculo de los cuantiles locales.....	30
4. 4. Modelos meteorológicos	33
4. 4. 1. Corrección de la precipitación diaria	33

4. 4. 2. Intensidad media diaria	34
4. 4. 3. Tiempo de concentración	35
4. 4. 4. Intensidad para un tiempo igual al tiempo de concentración.....	36
4. 4. 5. Cálculo de hietogramas de diseño.....	37
4. 5. Distribución de caudales base	39
4. 6. Método de transformación.....	40
4. 6. 1. Método de Clark	40
4. 6. 2. Tiempo de concentración y coeficiente de almacenamiento.....	40
4. 7. Método de tránsito	41
4. 7. 1. Método de Muskingum	41
4. 7. 2. Parámetros de Muskingum.....	41
4. 8. Modelado del efecto del cambio climático	43
4. 9. Determinación de la cota de la lámina de agua.....	48
4. 9. 1. Datos geométricos del modelo	48
4. 9. 2. Datos del flujo del modelo.....	49
5. RESULTADOS	51
5. 1. Situación actual.....	51
5. 2. Situación futura.....	54
6. CONCLUSIONES	58
Referencias.....	59
A. TABLA DE CUANTILES Y_t	61
B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)	62
C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO).....	70
D. PARÁMETROS DE LA SECCIÓN 2375	78

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1: Ubicación de la cuenca del Pas (Gobierno de Cantabria)	11
Figura 2: Municipios en la cuenca del Pas (Directiva Marco del Agua Cantabria)	11
Figura 3: Relieve y litología de la cuenca del Pas (Directiva Marco del Agua Cantabria)	12
Figura 4: Río Pas a su paso por Ontaneda (Genniucó, s.f.)	13
Figura 5: Perfil del río Pas (Confederación Hidrográfica del Cantábrico)	13
Figura 6: Esquema del río Pas (Confederación Hidrográfica del Cantábrico)	14
Figura 7: Alteraciones del río Pas (Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental - UC, 2006)	15
Figura 8: Climogramas de Miengo, La Peredilla y Selaya (Climate Data, s.f.)	16
Figura 9: Vista aérea de la zona de interés, con la línea de ferrocarril en naranja.....	17
Figura 10: Detalle del fichero ráster y la BTN en el Embalse del Ebro	18
Figura 11: Usos del suelo en la cuenca del Pas.....	19
Figura 12: Visor de Escenarios de Cambio Climático AdapteCCa (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, s.f.)	20
Figura 13: Descripción general de la metodología	21
Tabla 1: Áreas de las subcuencas	22
Figura 14: Mapa de la cuenca del Pas y las subcuencas delimitadas por HEC-HMS.....	23
Figura 15: Mapa de pendiente del terreno (azul: pendiente<3%, magenta: pendiente≥3%) 24	
Tabla 2: Tipos de suelo y números primos asignados.....	25
Figura 16: Mapa de los tipos de suelo de la cuenca del Pas	26
Tabla 3: Números primos, usos del suelo y números de curva según el tipo de suelo	27
Tabla 4: Números de curva de las subcuencas.....	28
Figura 17: Mapa de regiones de características similares (Santamaría Arias, 1999).....	30
Figura 18: Mapa con las isolíneas de C_v (rojo) y P (morado) (Santamaría Arias, 1999).....	31
Tabla 5: Valores de C_v y P por subcuencas.....	31
Tabla 6: Valores de Y_t para cada subcuenca y periodo de retorno	32
Tabla 7: Precipitación diaria máxima para cada subcuenca y periodo de retorno	32
Tabla 8: Comparación del valor medio y máximo de las precipitaciones máximas diarias ..	33
Tabla 9: Precipitaciones diarias máximas corregidas	34
Tabla 10: Intensidad de precipitación media diaria.....	34
Figura 19: Cuenca del Pas (área rosa) con el cauce más largo (línea verde)	35
Figura 20: Mapa del índice de torrencialidad (Ministerio de Fomento, 2016).....	36
Tabla 11: Intensidad de precipitación para t_c y los diferentes periodos de retorno.....	37
Tabla 12: Valores para el hietograma a 50 años	37
Tabla 13: Valores para el hietograma a 100 años	38
Tabla 14: Valores para el hietograma a 300 años	38
Tabla 15: Valores para el hietograma a 500 años	38
Figura 21: Hietogramas de diseño actuales	39
Tabla 16: Distribución mensual de caudales	39
Tabla 17: Caudales máximos obtenidos mediante el método racional	42
Tabla 18: Calado en los tramos 1 y 2.....	42
Tabla 19: Velocidades del flujo y de la onda de crecida	43
Tabla 20: Valores del coeficiente de proporcionalidad K	43
Tabla 21: Precipitaciones máximas según el modelo de AdapteCCa.....	44
Tabla 22: Precipitaciones diarias máximas futuras.....	45

Tabla 23: Precipitaciones diarias máximas futuras corregidas	45
Tabla 24: Intensidades de precipitación futuras	45
Tabla 25: Valores para el hietograma a 50 años (2041-2070).....	46
Tabla 26: Valores para el hietograma a 100 años (2041-2070).....	46
Tabla 27: Valores para el hietograma a 300 años (2041-2070).....	46
Tabla 28: Valores para el hietograma a 500 años (2041-2070).....	47
Figura 22: Hietogramas de diseño futuros.....	47
Figura 23: Geometría básica del modelo HEC-RAS.....	48
Tabla 29: Tabla resumen de parámetros para la simulación a 10 años.....	50
Tabla 30: Valores para el hietograma a 10 años (actual)	50
Figura 24: Hidrograma actual para período de retorno de 50 años	51
Figura 25: Hidrograma actual para período de retorno de 100 años	51
Figura 26: Hidrograma actual para período de retorno de 300 años	52
Figura 27: Hidrograma actual para período de retorno de 500 años	52
Tabla 31: Caudales máximos actuales en Mogro para cada período de retorno	52
Tabla 32: Cota de la superficie del agua en la sección 2375 (actualidad)	53
Tabla 33: Cota de la superficie del agua en la sección 2412 (actualidad)	53
Tabla 34: Cota de la superficie del agua en la sección 2545 (actualidad)	53
Figura 28: Zona inundada de la llanura (actualidad)	54
Tabla 35: Caudales máximos en Mogro para cada período de retorno (2041-2070)	54
Figura 29: Hidrograma para período de retorno de 50 años (2041-2070)	55
Figura 30: Hidrograma para período de retorno de 100 años (2041-2070).....	55
Figura 31: Hidrograma para período de retorno de 300 años (2041-2070).....	56
Figura 32: Hidrograma para período de retorno de 500 años (2041-2070).....	56
Tabla 36: Cota de la superficie del agua en la sección 2375 (2041-2070).....	56
Tabla 37: Cota de la superficie del agua en la sección 2412 (2041-2070).....	57
Tabla 38: Cota de la superficie del agua en la sección 2545 (2041-2070).....	57
Figura 33: Zona inundada de la llanura (2041-2070).....	57
Tabla 39: Cuantiles Y_t según período de retorno y valor de C_v (Santamaría Arias, 1999) ..	61
Tabla 40: Serie de caudales a 50 años en Mogro actual.....	63
Tabla 41: Serie de caudales a 100 años en Mogro actual.....	65
Tabla 42: Serie de caudales a 300 años en Mogro actual.....	67
Tabla 43: Serie de caudales a 500 años en Mogro (actual).....	69
Tabla 44: Serie de caudales a 50 años en Mogro (2041-2070)	71
Tabla 45: Serie de caudales a 100 años en Mogro (2041-2070)	73
Tabla 46: Serie de caudales a 300 años en Mogro (2041-2070)	75
Tabla 47: Serie de caudales a 500 años en Mogro (2041-2070)	77
Tabla 48: Parámetros de la sección 2375 (aguas arriba del puente del ferrocarril)	78
Tabla 49: Distribución del caudal en la sección 2375	78
Tabla 50: Distribución de área de flujo en la sección 2375.....	79
Tabla 51: Distribución de velocidad de flujo en la sección 2375.....	79
Figura 34: Distribución de velocidades (sección 2375, T=500 años, 2041-2070)	79

1. INTRODUCCIÓN

La zona de la ría de Mogro, en la que se ubica la desembocadura del río Pas en el Mar Cantábrico, se trata de un área singular de alto valor natural y diversidad paisajística: extensos arenales y dunas que se extienden a lo largo de la costa, dentro del Parque Natural de las Dunas de Liencres, contrastan con la presencia a escasa distancia de zonas montañosas como el Monte de La Picota, con más de 200 metros de altitud, a tan solo dos kilómetros del mar, o las zonas bajas del Abra del Pas. Flanqueada por estas formaciones, la llanura inundable del río Pas se extiende entre los municipios de Miengo y Piélagos, encontrándose la localidad de Mogro en la margen izquierda de dicho río, y Boo de Piélagos en su margen derecha.

La naturaleza de la orografía del terreno, así como la proximidad del mar, hacen que esta zona sufra inundaciones de considerable magnitud repetidamente, año tras año, causando importantes perjuicios, sin que se haya encontrado una solución viable hasta el momento. La gravedad de estos fenómenos es especialmente importante cuando confluyen una serie de factores. En primer lugar, la crecida del cauce del río Pas por eventos extremos de precipitación y/o el deshielo de las nieves acumuladas durante los meses fríos en las montañas de la Cordillera Cantábrica. En segundo lugar, la irrupción de la bravura del Cantábrico dentro del estuario durante el paso de los temporales, típicos sobre todo en otoño e invierno, particularmente agresiva si coincide con la pleamar. Además, el efecto de las mareas en la ría es, durante todo el año, digno de mención, más aún durante las mareas equinocciales en marzo y septiembre, cuando la variación entre la marea alta y la marea baja es todavía mayor. Por otro lado, el cambio climático también juega, por desgracia, un papel determinante y ascendente en el desarrollo de estos fenómenos de inundación.

La suma de estos hechos ha provocado en recientes años episodios terribles, como los que tuvieron lugar en marzo de 2014 y en enero de 2019, que causaron estragos a lo largo y ancho de la geografía cántabra en general, y en la llanura inundable del Pas en concreto. Debido al mencionado creciente impacto del cambio climático, que ya está provocando tanto la subida del nivel del mar como el incremento en el número de eventos meteorológicos extremos, cabe esperar que este tipo de catástrofes naturales no solo van a seguir ocurriendo en el corto a medio y largo plazo, sino que lo harán de una forma cada vez más intensa y habitual.

Siguiendo el curso del río Pas desde la desembocadura en el mar Cantábrico, a unos 5 kilómetros aguas arriba de la misma encontramos la línea de ferrocarril de vía estrecha que une Santander con Oviedo (Asturias). La intersección de dicha línea férrea con el río se produce entre las estaciones de Boo de Piélagos y Mogro, en las proximidades de esta última. En el tramo en cuestión, la línea es de vía doble electrificada -algo poco habitual en la red de ancho métrico española-, debido al intenso tráfico ferroviario que circula por la misma: trenes de cercanías del núcleo de Santander, de media distancia y de mercancías, principalmente. Todo esto lo convierte en uno de los tramos más importantes estratégicamente dentro de la red de la extinta Feve, ahora integrada en el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias.

Sin embargo, llama la atención el estado en el que queda la vía durante los citados eventos de inundación, en los que la plataforma llega a quedar completamente sumergida, haciendo que no

quede otra alternativa que interrumpir el servicio, con los consiguientes perjuicios que ello supone tanto para el transporte de pasajeros como el de mercancías, incluso en aquellos casos en los que se proporcionan alternativas de transporte por carretera. Esto, unido al gran potencial que tiene la línea de ferrocarril que une Santander con Oviedo, y el conjunto de las líneas de vía estrecha de la cornisa cantábrica, justifican la necesidad de estudiar las posibles soluciones al problema que se ha descrito previamente.

El objetivo de este estudio es **caracterizar los fenómenos hidrológicos** que afectan a la **llanura inundable del río Pas**, en la que se ubica nuestro punto de interés, la intersección de dicho río con la línea de ferrocarril de ancho métrico Santander-Oviedo. El fin último consiste en obtener los **parámetros necesarios para el rediseño del tramo** que une las estaciones de Mompía y Mogro. Para dicho análisis, se considerarán diversos periodos de retorno, que van desde los 50 hasta los 500 años, de acuerdo con la normativa de drenaje longitudinal y transversal del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. Para obtener unos resultados que se ajusten más rigurosamente a la realidad, se incluirán en el análisis tanto **elementos meteorológicos e hidrológicos** como los efectos derivados del **cambio climático**. Por tanto, se caracterizará en primer lugar el comportamiento del río en el momento actual ante eventos de avenida. Del mismo modo, se estudiará la respuesta en el largo plazo, de acuerdo con la vida útil estimada de los componentes de la superestructura ferroviaria, considerando en este caso las variaciones provocadas por el cambio climático. Para ambos casos, se obtendrán tanto los **caudales máximos a 50, 100, 300 y 500 años**, como la **cota de la lámina del agua para el período de retorno de 300 años**.

El elemento central sobre el cual va a pivotar todo el proceso es un modelo de cuenca de HEC-HMS, software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, que es utilizado para simular la respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica. Ha sido necesario realizar, previo a la ejecución de dicho modelo, toda una serie de procesos cuya finalidad última ha sido la obtención de los parámetros imprescindibles para el correcto funcionamiento del mismo, relacionados con los métodos de pérdidas, transformación, o de tránsito, entre otros. El producto final proporcionado por el modelo es una estimación de la respuesta del río a los diferentes eventos de avenida, en dos formatos: los gráficos de los hidrogramas y las tablas de las series cronológicas de caudales circulantes. Finalmente, para la determinación de la cota de la lámina del agua, se elaborará un modelo de la llanura inundable de HEC-RAS, que es también un programa creado por el ejército estadounidense. En este caso, se obtiene como resultado información como las cotas de la superficie libre, o la superficie que queda sumergida para cada período de retorno.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2. 1. Localización geográfica

Nuestra zona de interés se encuentra en la cuenca del río Pas, que se ubica en la franja central de la comunidad autónoma de Cantabria, en el extremo norte de la Península Ibérica. Dicha cuenca hidrográfica se extiende sobre un total de catorce municipios: Castañeda, Corvera de Toranzo, Luena, Miengo, Piélagos, Puente Viesgo, San Pedro del Romeral, Santa María de Cayón, Santiurde de Toranzo, Saro, Selaya, Vega de Pas, Villacarriedo y Villafufre (Directiva Marco del Agua Cantabria). El río Pas nace en la Cordillera Cantábrica, en Peñas Negras, y desemboca en el Mar Cantábrico en la Ría de Mogro, en el municipio de Miengo. En la Figura 1 se muestra la ubicación de la cuenca del Pas en la comunidad autónoma de Cantabria, así como la localización de Cantabria en la Península Ibérica. Los diferentes municipios que se ubican en la cuenca del Pas se pueden observar en la Figura 2.



Figura 1: Ubicación de la cuenca del Pas (Gobierno de Cantabria)

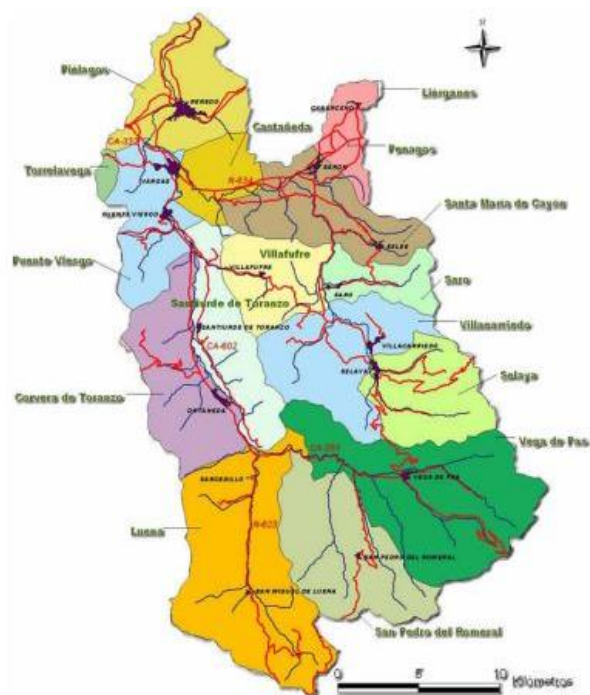


Figura 2: Municipios en la cuenca del Pas (Directiva Marco del Agua Cantabria)

2. 2. La cuenca del Pas

La cuenca hidrográfica que alimenta al río Pas tiene una extensión de 661 km² (Confederación Hidrográfica del Cantábrico), lo que la hace una de las mayores en superficie de la vertiente norte de la comunidad de Cantabria, ya que solo la supera la cuenca del río Saja. Si nos movemos en sentido horario, los límites de la cuenca son los siguientes: por el norte, el Mar Cantábrico; por el este, la cuenca del río Miera; por el sur, la cuenca del río Ebro, haciendo de divisoria la Cordillera Cantábrica; y, por el oeste, la cuenca del río Saja.

El río principal de la cuenca es el que le da nombre, el Pas. También destacan los ríos Luena o de La Magdalena y el río Pisueña, afluentes del mismo. La red hídrica principal, constituida por estos tres cauces, cuenta con un recorrido que sobrepasa los 110 kilómetros de longitud (Directiva Marco del Agua Cantabria). La gran extensión de la cuenca proporciona unos recursos hídricos superficiales en régimen natural en el inicio del tramo del estuario de la Ría de Mogro que superan los 505 Hm³/año (Bezanilla Rodríguez, 2015).

El relieve de la cuenca en su conjunto es notablemente accidentado, y marcado por la existencia de numerosos valles. En la Figura 3 se puede apreciar la presencia de sistemas montañosos en la mitad sur de la cuenca, formando la franja montañosa que se extiende desde el extremo oriental hacia la parte central la barrera entre las vertientes del río Pas y el río Pisueña. En cuanto a la naturaleza geológica del terreno, dominan las formaciones Wealdenses (arcillas, areniscas y limolitas). Además, la presencia de terrazas aluviales también es digna de mención, alcanzando su mayor desarrollo en los tramos medios y bajos de la cuenca, como puede observarse también en la Figura 3 (Directiva Marco del Agua Cantabria). En lo que respecta a los usos del suelo, en la zona alta de la cuenca dominan las grandes áreas cultivadas y las grandes superficies forestales (arboladas y desarboladas), mientras que en las zonas bajas y medias los cultivos se reducen a pequeñas parcelas aisladas.

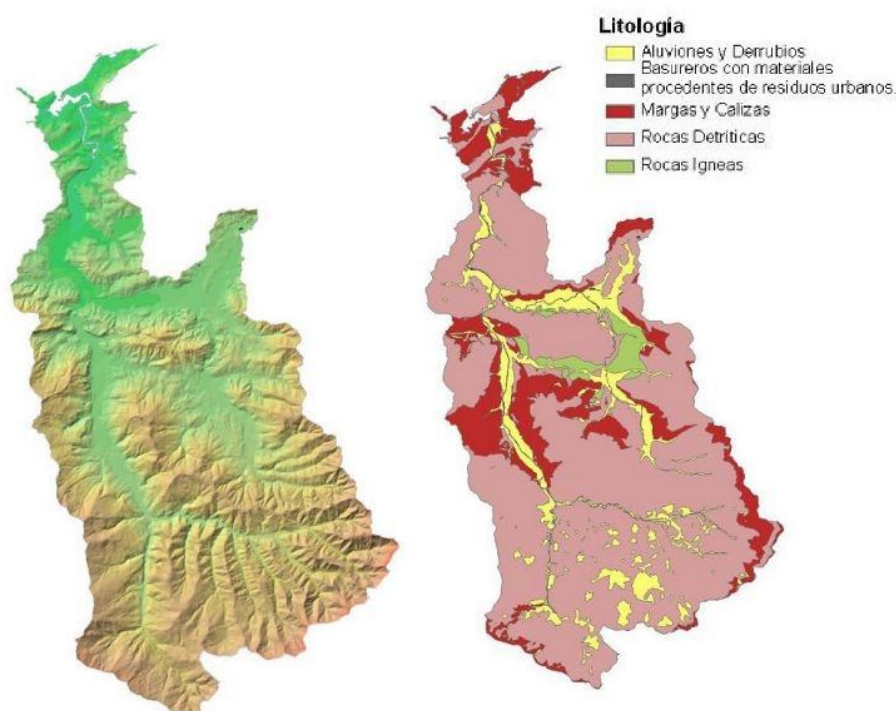


Figura 3: Relieve y litología de la cuenca del Pas (Directiva Marco del Agua Cantabria)

2. 3. El río Pas

El río Pas es un curso fluvial que nace en la Cornisa Cantábrica, por la contribución de varios arroyos situados entre las Peñas Negras y las estribaciones de Castro Valnera (Confederación Hidrográfica del Cantábrico). Sus principales aportaciones en esta zona provienen del arroyo Pandillo, del río Yera y de otros arroyos de escasa importancia. Su recorrido, de 61 kilómetros, discurre principalmente en dirección Sureste-Noroeste, en su primer tramo, y Sur-Norte, en el segundo (Directiva Marco del Agua Cantabria). A lo largo del mismo, atraviesa pequeñas localidades, como Ontaneda, Puente Viesgo, Oruña, y Mogro, donde se encuentra su desembocadura en el Mar Cantábrico, formando el estuario de la Ría de Mogro. Cuenta con multitud de arroyos y pequeños ríos afluentes, destacando los ríos Luena o de La Magdalena, de 17,4 km de longitud, y el Pisueña, de 34,7 km.

En esos escasos 61 kilómetros, el río ha de salvar un importante desnivel. Las primeras aguas parten desde los 1496 metros de altura del alto de Peña Negra, hasta el nivel del mar en el estuario de la Ría de Mogro. A medida que descendemos en altitud, el terreno va siendo cada vez menos escarpado, formándose vegas más y más amplias según nos acercamos a la costa cantábrica (Confederación Hidrográfica del Cantábrico). No son pocas las alteraciones que se han llevado a cabo en el río Pas, si bien su impacto es reducido si lo comparamos con otros casos a nivel regional y nacional. Se profundizará más en este aspecto en el siguiente apartado.



Figura 4: Río Pas a su paso por Ontaneda (Genniucó, s.f.)

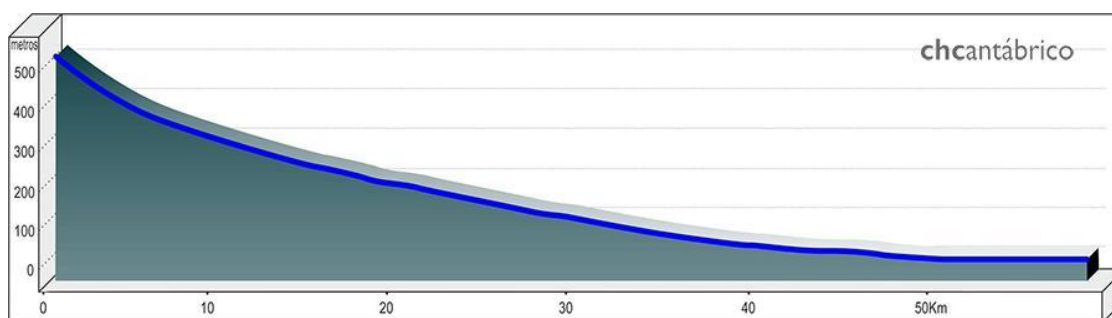


Figura 5: Perfil del río Pas (Confederación Hidrográfica del Cantábrico)

En el esquema de la Figura 6 observamos el recorrido del río desde su nacimiento en las estribaciones de Peñas Negras hasta su desembocadura en el Mar Cantábrico a través de la Ría de Mogro. También se muestran sus dos afluentes principales, así como los puntos en los que estos descargan sus aguas en el Pas. Recibe el caudal tributario por su margen izquierda en la localidad de Entrambasaguas en el caso del río Luenta o de La Magdalena, y por su margen derecha en los alrededores de Puente Viesgo, en el caso del río Pisueña. También es fácil apreciar el cambio en la trayectoria del curso del Pas en Entrambasaguas, de Sureste-Noroeste a Sur-Norte. En la Figura 5 se muestra el perfil del río Pas. Ambas imágenes han sido tomadas de la página web de la *Confederación Hidrográfica del Cantábrico*.



Figura 6: Esquema del río Pas (Confederación Hidrográfica del Cantábrico)

2. 4. Alteraciones del cauce

Del total de las alteraciones que se encuentran registradas en Cantabria, cerca del 25% se encuentran en la cuenca del río Pas, hasta un total de 482. De estas, 197 se encuentran en el río Pisueña y 285 en el río Pas. Teniendo en cuenta que las longitudes de los ríos son de 34,7 y 61 kilómetros, respectivamente, nos encontramos con más de 5 alteraciones por kilómetro recorrido. Sin embargo, el grado de alteración no es uniforme en la cuenca: las zonas altas gozan de un mayor grado de conservación, mientras que los tramos medios son los más modificados. Esto puede deberse al mayor desarrollo de la industria en el tramo medio de la cuenca. Las presiones están asociadas, en su mayoría, a la actividad agropecuaria de la zona (Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental - UC, 2006).

En el caso del río Pas, 102 de las alteraciones corresponden a elementos que alteran la continuidad del río, tratándose en su mayoría de traviesas. Además, más del 20% de la longitud del río se encuentra encauzada artificialmente, con el fin de prevenir sus riadas. Tanto la zona del río Pas canalizada como algunas de las traviesas pueden observarse en la Figura 7. En el río Pisueña es más notable la presencia de 15 azudes, que en algunos casos suponen una alta afección al cauce. Existen en la cuenca un total de 20 detracciones y 6 retornos, destacando la detracción localizada a la altura de Soto Iruiz, en el río Pas, para el abastecimiento de agua a la ciudad de Santander. Unos 27 Hm³ son distraídos anualmente para este último fin (Bezanilla Rodríguez, 2015).

Por último, en lo que respecta a fuentes de contaminación, se han registrado en el Pas hasta 20 puntos de vertido de aguas residuales, incluyendo aguas residuales urbanas y cuatro vertidos de origen industrial. Su efecto es especialmente destacable en los meses de verano, cuando el caudal del río se ve altamente reducido. En el caso del Pisueña, existen 15 puntos de vertido de aguas residuales, siendo dos de ellos de tipo industrial, ambos procedentes de industrias agroalimentarias que incorporan una carga orgánica importante al sistema fluvial (Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental - UC, 2006).

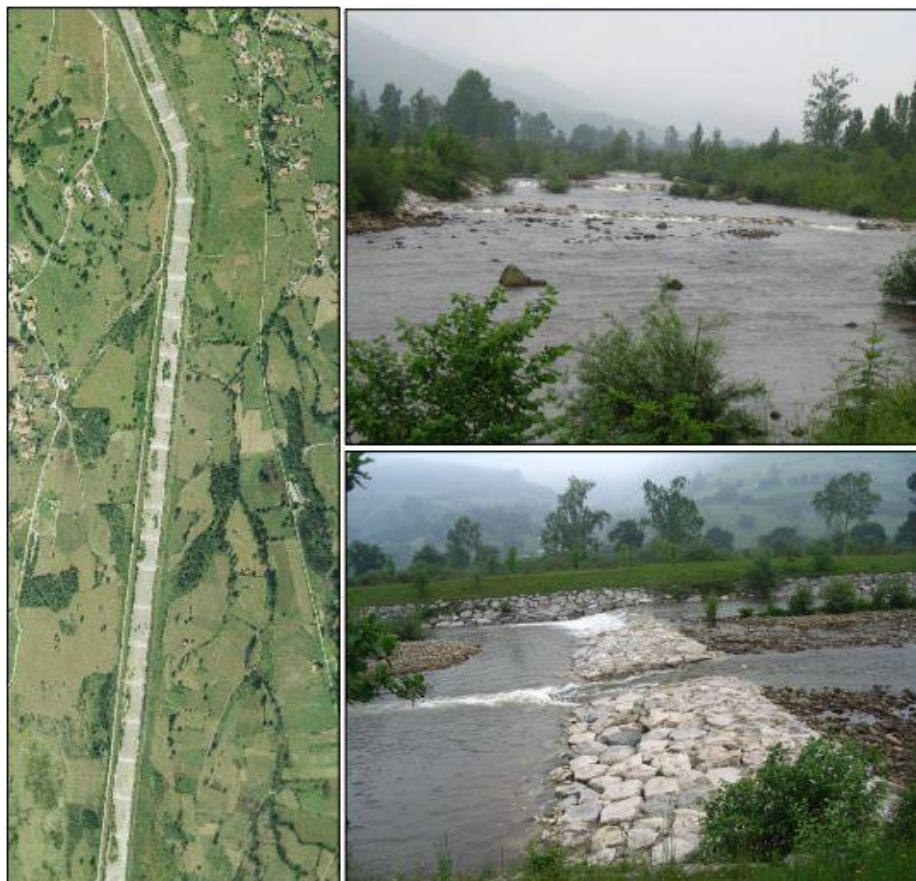


Figura 7: Alteraciones del río Pas (Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental - UC, 2006)

2. 5. Climatología

La región cuenta con un clima oceánico o atlántico, templado y húmedo, de tipo Cfb según la clasificación climática de Köppen. Este clima es típico en las regiones situadas más al oeste de las grandes masas continentales como, en este caso, Europa Occidental. El clima oceánico se caracteriza por tener unos veranos e inviernos suaves, con pequeñas o moderadas oscilaciones térmicas diurnas y anuales, además de una alta humedad relativa. Sin embargo, la corriente del Golfo hace que en Cantabria se registren temperaturas bastante más suaves que en otras zonas situadas en latitudes similares.

Si ponemos el foco en la cuenca del Pas, encontramos tres zonas climáticas diferenciadas (Directiva Marco del Agua Cantabria):

- La zona costera es la que presenta el clima más cercano al previamente descrito, un clima oceánico o atlántico con una escasa variación de temperaturas anuales. La temperatura media en verano es de 19°C, oscilando entre una máxima media de 22°C y una mínima de 16°C. Por otro lado, en invierno, la temperatura media es de 11°C, con una máxima media de 14°C y una mínima media de 8°C. El gradiente térmico medio es, por tanto, de 8°C, dando lugar a un clima suave. Considerado representativo de esta zona y del entorno de la estación de Mogro, se muestra en la Figura 8 el climograma de Miengo.

- La zona de mayor altitud de la cuenca del Pas tiene un clima continental de montaña, de condiciones extremas y variaciones térmicas abruptas. En las zonas más elevadas, la temperatura media invernal presenta valores negativos, lo que hace que el gradiente térmico sea mayor que el de la zona costera. A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 8 el climograma de La Peredilla.
- La zona sur presenta rasgos del clima mediterráneo-continental, con las mayores variaciones de temperatura y precipitación de toda la cuenca. Para este último grupo, se muestra en la Figura 8 el climograma de Selaya.

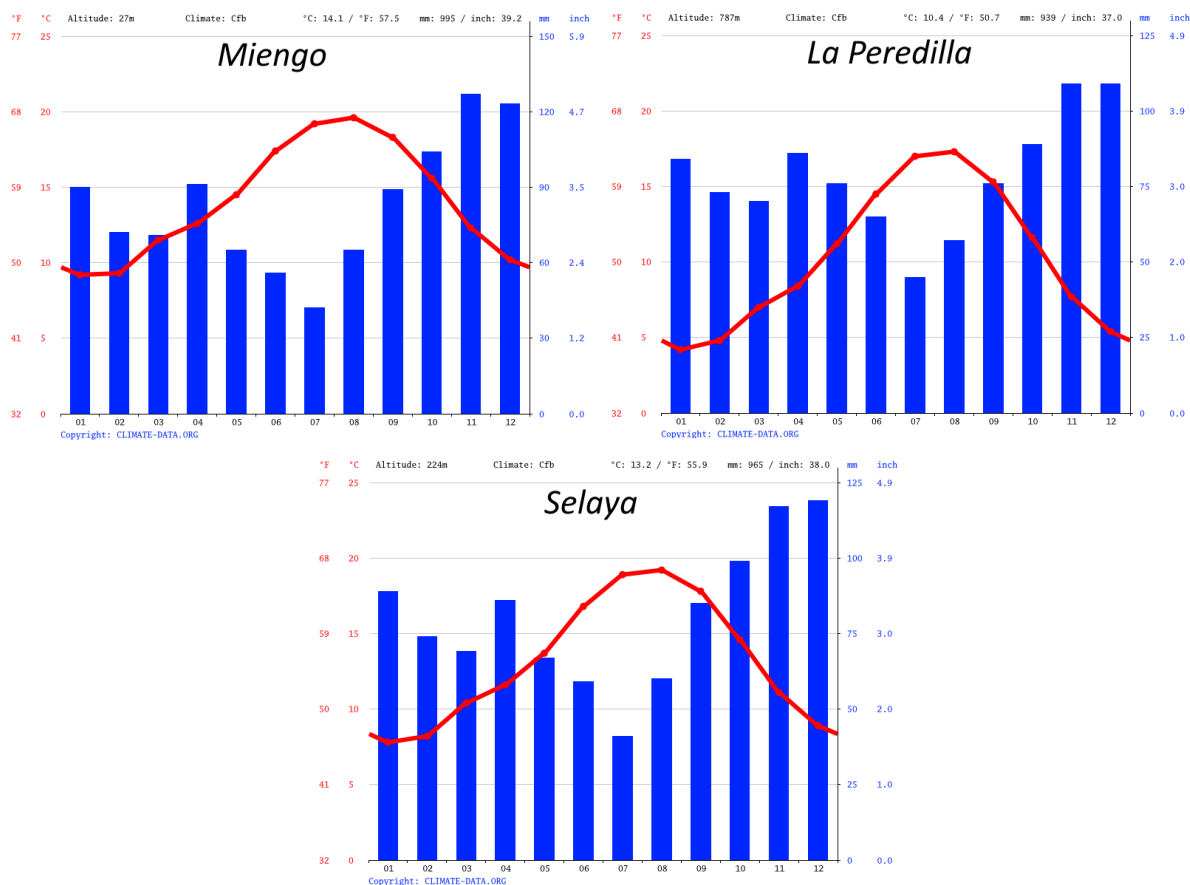


Figura 8: Climogramas de Miengo, La Peredilla y Selaya (Climate Data, s.f.)

2. 6. Sección de interés del río

El punto donde se producen los fenómenos de inundación que han motivado este estudio se ubica a escasa distancia del tramo inicial del estuario de la Ría de Mogro, entre los términos municipales de Miengo y Piélagos, más concretamente en el cruce del Pas con la línea de ferrocarril de ancho métrico que une Santander con Asturias. Inmediatamente aguas abajo del puente donde se ubica la intersección encontramos una zona de llanura inundable en ambas márgenes del río. Si nos movemos aguas arriba, también encontramos áreas llanas en la margen izquierda, donde se halla la estación de Mogro y se producen los efectos más graves de las inundaciones, mientras que observamos un terreno algo más elevado en la margen derecha, a refugio de las posibles crecidas, donde se ubica una zona residencial de la localidad de Boo de Piélagos. En la Figura 9 se muestra una

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

vista general de la zona, con la línea de ferrocarril destacada en naranja, y el punto de intersección del río y la misma indicado con un símbolo azul.

Los suelos en esta zona son variados: predominan los aluviones, típicos en los entornos de cursos fluviales, y también podemos encontrar margas y calizas arcillosas, o arenas, de acuerdo con el Mapa Geológico del Instituto Geológico y Minero de España. Los usos del suelo predominantes son: terreno agrícola, residencial, e instalaciones de transporte.

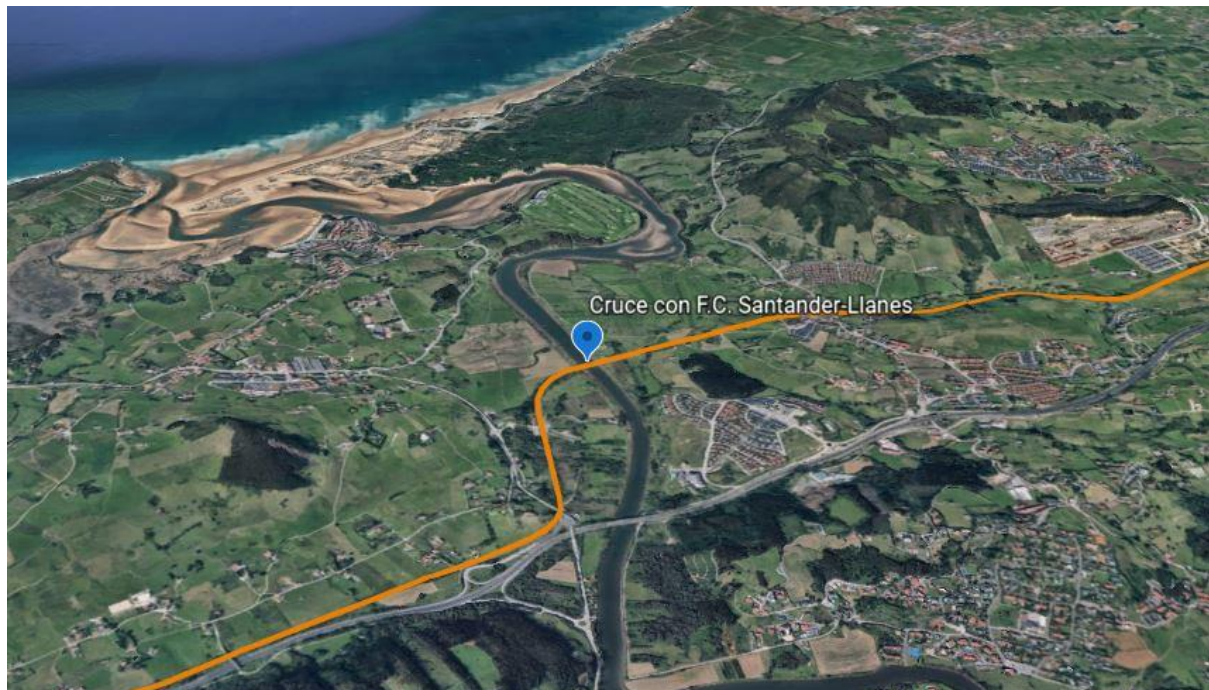


Figura 9: Vista aérea de la zona de interés, con la línea de ferrocarril en naranja

3. FUENTES DE INFORMACIÓN

3. 1. Documentación cartográfica

3. 1. 1. Documentación cartográfica de la zona de estudio

Para crear el modelo en HEC-HMS se requiere, en primer lugar, un fichero ráster correspondiente a la zona en la que se ubica la cuenca hidrográfica que se va a estudiar. La documentación empleada, que ha sido extraída del centro de descargas del IGN (Instituto Geográfico Nacional), incluye: modelos digitales del terreno con paso de malla de 200 metros (MDT200) y 5 metros (MDT05), y las hojas de la Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000 que se corresponden con el área de la cuenca del Pas y su proximidad.

El modelo digital del terreno de 200 metros de paso de malla se ha tomado para generar el modelo de HEC-HMS de la cuenca, mientras que el modelo de 5 metros de paso de malla se empleará en el software HEC-RAS para obtener la cota de la lámina del agua. Tomar un paso de malla más reducido en el primer caso podría aumentar la resolución, pero el esfuerzo computacional y de manejo de los archivos pueden resultar demasiado elevados. Las hojas de la BTN se han descargado para ubicar elementos en los MDT.

A continuación, en la Figura 10, se muestran tanto el archivo ráster como una de las hojas de la BTN, en este caso la 83-4, donde se aprecia la utilidad de esta última para localizar puntos específicos en archivos de tipo ráster, que no muestran directamente información geográfica, a pesar de estar georreferenciados.

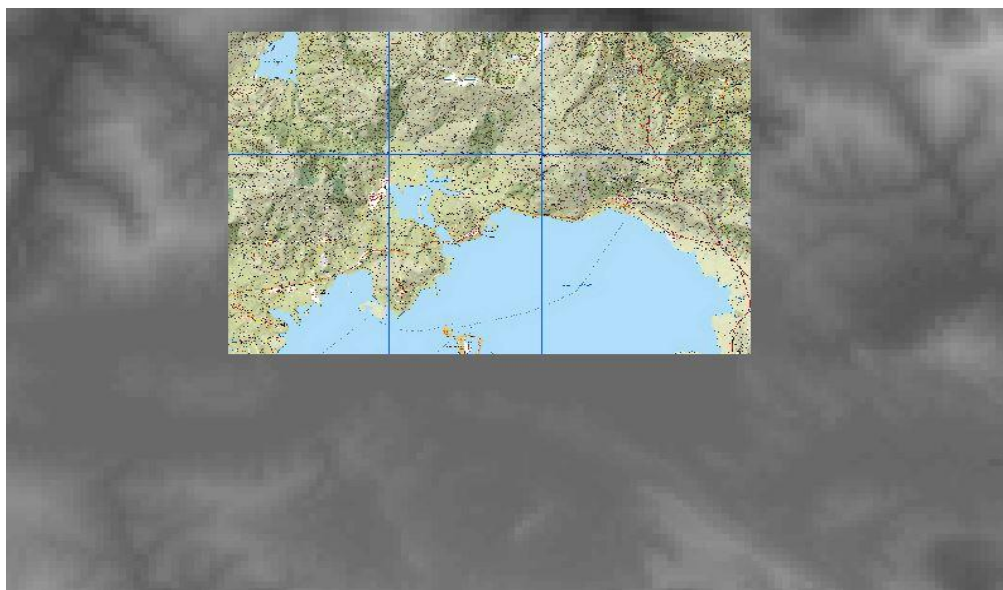


Figura 10: Detalle del fichero ráster y la BTN en el Embalse del Ebro

3. 1. 2. Usos del suelo

En este caso, se ha descargado la documentación correspondiente a los usos del suelo del visualizador de información geográfica del Gobierno de Cantabria (Gobierno de Cantabria). He escogido la opción que incluye la información del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) para dicha comunidad autónoma. En la Figura 11 se muestra la documentación sobre los usos del suelo del SIOSE, ajustada al área de la Cuenca del Pas.

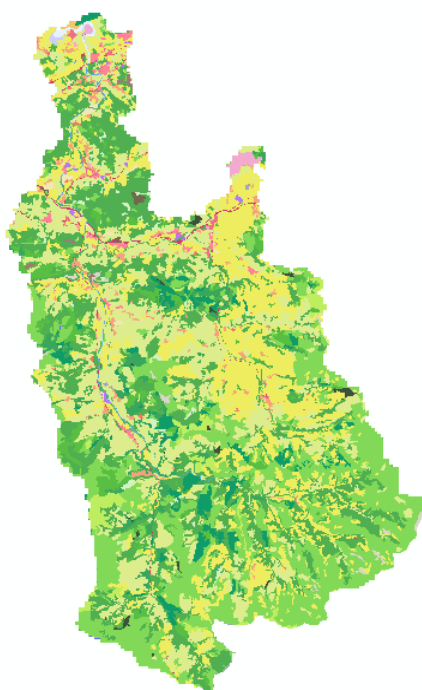


Figura 11: Usos del suelo en la cuenca del Pas

3. 1. 3. Cartografía geológica

Con el fin de determinar los tipos de suelo de la zona de estudio según su naturaleza, se ha empleado la cartografía geológica digital continua a escala 1:50000, disponible para su descarga en la página web del IGME (Instituto Geológico y Minero de España, n.d.). Del mismo modo que la Base Topográfica Nacional, se han descargado las hojas del mapa correspondientes a la cuenca del Río Pas y alrededores, haciendo un total de 12 hojas. Esta cartografía incluye abundante información para cada uno de los componentes, incluyendo, entre otros, una breve descripción del tipo de suelo, la serie, o la formación geológica.

3. 2. Datos climáticos

3. 2. 1. Datos históricos de precipitación

La información correspondiente a los datos históricos de precipitación para la zona de estudio ha sido obtenida del documento *Máximas llluvias diarias en la España peninsular*, publicado por el Ministerio de Fomento (Santamaría Arias, 1999). Dicho documento tiene como finalidad proporcionar un método sencillo que permita calcular los caudales a desaguar por los cauces en obras de carácter lineal, estando inicialmente concebido para obras de carreteras, aunque es perfectamente aplicable a finalidades como esta.

3. 2. 1. Datos de precipitación futuros

Los datos de precipitaciones máximas en el medio-largo plazo han sido extraídos del visor de escenarios de cambio climático *AdapteCCa.es* (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, s.f.). Se trata de una plataforma en la que se pueden observar y descargar las proyecciones más actualizadas sobre cómo será el clima futuro en nuestro país. Se contemplan dos escenarios de emisiones de uso habitual (RCP 4.5 y RCP 8.5), y un escenario histórico de referencia. La Figura 12 muestra el Visor de Escenarios de Cambio Climático, centrado en la comunidad de Cantabria, e indicando las estimaciones de precipitación máxima diaria en el futuro medio y el escenario RCP 8.5.

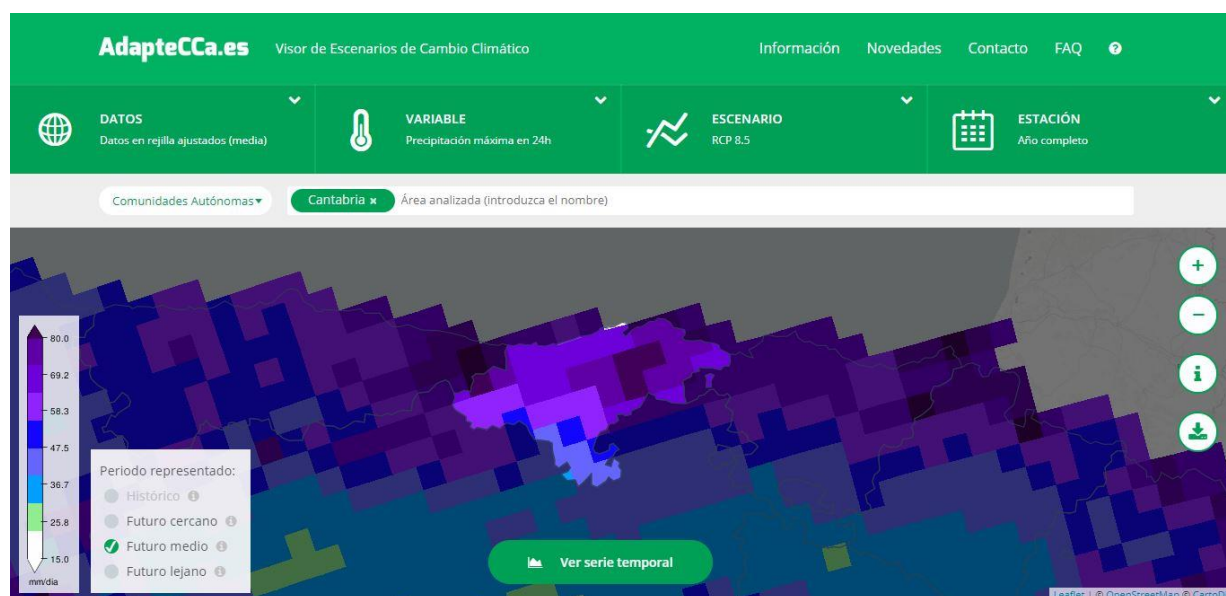


Figura 12: Visor de Escenarios de Cambio Climático AdapteCCa (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, s.f.)

4. METODOLOGÍA

En la Figura 13 se muestra, de manera resumida, el procedimiento que se ha seguido:

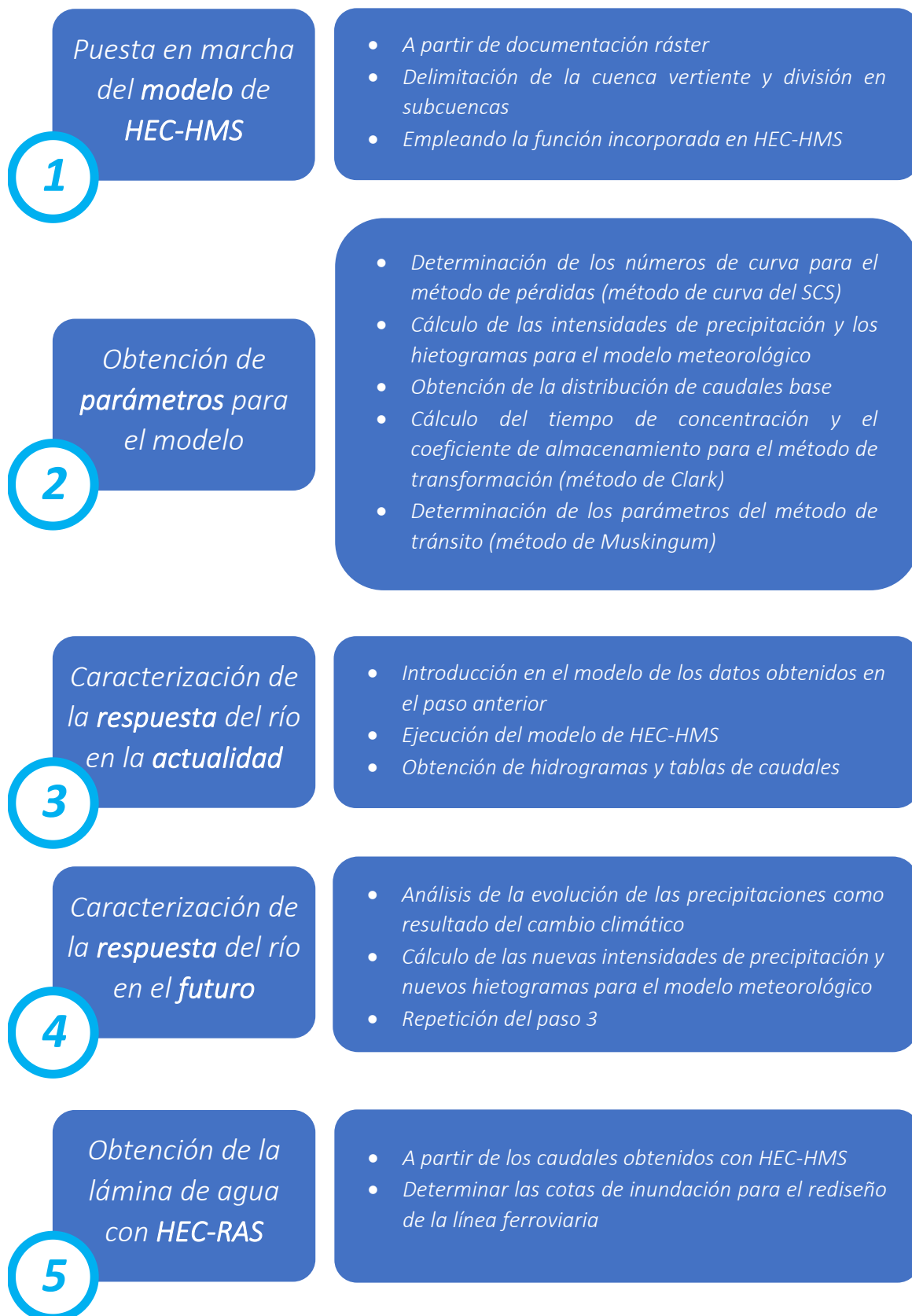


Figura 13: Descripción general de la metodología

4. 1. Puesta en marcha del modelo de HEC-HMS

El software HEC-HMS en su versión 4.6.1 incorpora la posibilidad de crear el modelo de la cuenca directamente desde el propio programa, sin necesidad de hacer uso de ArcGIS, por lo que he optado por esta opción, más directa y sencilla de realizar. De todos modos, aunque la base del procedimiento haya sido el programa HEC-HMS, se ha utilizado ArcGIS para realizar una serie de procesos intermedios con la finalidad última de obtener información que ha sido posteriormente incorporada al modelo en HEC-HMS.

4. 1. 1. Delimitación de las subcuencas

En primer lugar, tomando como base el modelo digital del terreno previamente descargado, se ha generado el modelo de cuenca para el río Pas, tomando como punto de referencia (y desembocadura), una localización dentro del curso del río que se encuentra próxima a la zona conocida como “Abra del Pas”, donde se ubica el campo de golf homónimo. Dicho punto se encuentra cerca tanto de la desembocadura del río Pas en el Mar Cantábrico, en el entorno del Parque Natural de las Dunas de Liencres y la ría de Mogro, como del cruce del mismo con la línea de ferrocarril de vía estrecha que une Santander y Oviedo, que es de especial interés en este estudio.

La cuenca que drena a dicho punto es dividida en una serie de subcuencas en el modelo. El número de subcuencas es un factor importante a tener en cuenta. Por una parte, cuantas más subcuencas se definan, menor será el área de las mismas, y mayor será la precisión de los resultados obtenidos. Sin embargo, la existencia de multitud de subcuencas puede complicar notablemente el proceso, haciéndolo demasiado engorroso sin obtener a cambio una mejora reseñable de los resultados. El área de la cuenca hidrográfica del Pas es de 661 km² (Confederación Hidrográfica del Cantábrico), lo cual se ha considerado para escoger el área utilizada por el programa HEC-HMS para definir las corrientes en la herramienta *Identify Streams*. Tras realizar pruebas con diferentes valores, finalmente se ha tomado un área de 50 km², con el que se han obtenido 5 subcuencas. La Tabla 1 recoge el área de cada una de las subcuencas, y la Figura 14 muestra una vista general del modelo de cuenca que se ha obtenido, donde se pueden observar los límites geográficos de las subcuencas y el punto de desembocadura.

Subcuenca	Área (km ²)
S_1	200,68
S_2	151,76
S_3	83,96
S_4	129,80
S_5	91,40

Tabla 1: Áreas de las subcuencas



Figura 14: Mapa de la cuenca del Pas y las subcuencas delimitadas por HEC-HMS

4. 2. Método de pérdidas

4. 2. 1. Método del número de curva

Existen multitud de parámetros que pueden ser añadidos a cada uno de los elementos (subcuencas, tramos de cauce, etc) que han sido creados en el apartado anterior. En el caso de las subcuencas, uno de esos parámetros es el número de curva, que es un factor fundamental en el método de cálculo de pérdidas que se va a emplear (*Loss method* en HEC-HMS), que es el establecido por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América.

En función de su número de curva, un terreno producirá mayor o menor escorrentía al recibir un aporte de precipitación, siendo mayor la escorrentía cuanto mayor sea el número de curva. El máximo se alcanza para un número de curva igual a 100, en el que toda la precipitación produce escorrentía. Es importante no cometer el error de asumir que el número de curva representa el porcentaje de escorrentía generada (Sánchez San Román F. , Cálculo de la Precipitación Neta mediante el método del S.C.S.), ya que, para números de curva diferentes de 100, ambas cifras no coinciden (por ejemplo, en un terreno con un número de curva de 90, no es el 90% el porcentaje de la precipitación que produce escorrentía).

4. 2. 2. Determinación de los números de curva

El número de curva de un terreno depende de múltiples factores: la pendiente del mismo, sus características hidrológicas, el tipo de suelo, y el uso del suelo (Ferrer et al.). Para determinar los números de curva de cada una de las subcuencas, con el fin de incorporarlo en el modelo de HEC-HMS, se han realizado una serie de procesos en ArcGIS lidiando con las variables mencionadas, que se describen en los sucesivos apartados. Se ha seguido el método empleado en el artículo *Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica* (Ferrer et al.), que consiste en la asignación de números de curva a las parcelas de terreno en base a otro número, obtenido como producto de unos números primos que describen las características de pendiente, tipo de suelo y uso de suelo en dicha parcela. La naturaleza de los números primos hace que el producto resultante de multiplicar tres de ellos va a resultar ser siempre un número diferente. Por tanto, será posible relacionar un producto de los tres valores pertenecientes a la pendiente, el tipo de suelo y el uso de suelo con el número de curva que corresponde a dichos valores de pendiente, tipo de suelo y uso de suelo.

4. 2. 2. 1. Pendiente del terreno

La inclinación de una superficie influye en la esorrentía que produce la precipitación que cae sobre la misma. Basta con observar, por ejemplo, las tablas en Ferrer et al. de los números de curva para apreciar que a los casos en los que la pendiente es igual o superior al 3% les corresponden números de curva diferentes de aquellos en los que la pendiente es menor, a igualdad de otras variables. Por tanto, se ha procedido a dividir la cuenca del río Pas en dos clases diferenciadas: por un lado, aquellas zonas con una pendiente igual o superior al 3% y, por otro, aquellas con pendientes menores. El resultado se muestra en la Figura 15, donde la primera clase se representa en magenta, y la segunda en color azul.

En la tabla de atributos de la capa de las pendientes se ha asignado un número primo diferente a cada una de las dos clases: la clase de pendientes inferiores al 3% ha recibido el número 1 y la clase de pendientes igual o superior al 3% ha recibido el número 2.



Figura 15: Mapa de pendiente del terreno (azul: pendiente<3%, magenta: pendiente≥3%)

4. 2. 2. 2. Características hidrológicas

En las tablas de *Ferrer et al.* también se incluye como variable la característica hidrológica, que se relaciona con la forma en que se desarrollan los cultivos. En este caso, se divide en dos clases: aquellos cultivos que siguen las curvas de nivel (N), y los que siguen la línea de máxima pendiente (R). Mediante una rápida inspección de las tablas, podemos comprobar que los números de curva para los cultivos que siguen la línea de máxima pendiente son superiores a aquellos que siguen las curvas de nivel, aunque la diferencia no es especialmente relevante.

Debido a la escasez de información relativa a la disposición de los cultivos en la zona, y que la diferencia no es grande, he asumido que los cultivos siguen la línea de máxima pendiente, para permanecer en el lado de la seguridad. Por tanto, en aquellos casos en los que se hacía una diferenciación en este aspecto en las tablas de números de curva, se han tomado los valores correspondientes a la clase R.

4. 2. 2. 3. Tipos de suelo

El tipo de suelo es otro factor importante para definir el número de curva de una zona. Existen cuatro grupos en los que podemos clasificar los suelos en función de su comportamiento hidrológico (Mongil Manso):

- Grupo A: suelos con bajo potencial de escorrentía por su gran permeabilidad y alta capacidad de infiltración, incluso húmedos. Suelos profundos, de textura arenosa o areno-limosa.
- Grupo B: suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. En esta categoría se incluyen suelos con buen drenaje, de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa).
- Grupo C: suelos con baja capacidad de infiltración cuando están saturados. En este grupo encontramos texturas de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa).
- Grupo D: suelos con alto potencial de escorrentía y baja capacidad de infiltración cuando están saturados. Se incluyen suelos muy arcillosos, suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, suelos salinos y suelos con nivel freático alto.

Ya que la información geológica del IGME con la que se cuenta es muy extensa y detallada, he realizado una reclasificación de los suelos de la cuenca del Río Pas en estos cuatro grupos principales, con la ayuda de sus descripciones y las tablas de *Villegas* (Villegas, 2017). En la Tabla 2 se recopilan los suelos incluidos en cada uno de los grupos del SCS, así como los números primos asignados.

Grupo	Suelos	Núm.
A	Cantos, fragmentos, gravas, y combinaciones de gravas, arenas, arcillas y limos	3
B	Arenas, calizas, dolomías, y gravas (con matriz limo-arcillosa y/o arenosa)	5
C	Arcillas y arcillas con arenas o limos; areniscas; calcarenitas; conglomerados; limolitas y limos; margas y calizas arcillosas o margosas; ofitas; tobas volcánicas	7
D	Bloques, fangos arcillosos, lutitas, y margas grises y oscuras	11

Tabla 2: Tipos de suelo y números primos asignados

Una vez agrupados los datos del IGME en los cuatro grupos, se ha asignado en ArcGIS el número primo que le correspondía a cada unidad geológica, en la tabla de atributos, de acuerdo con la clasificación anterior. El resultado se muestra en la Figura 16.

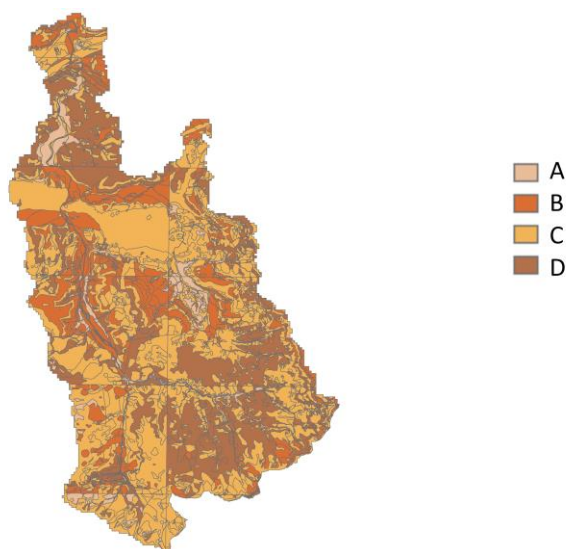


Figura 16: Mapa de los tipos de suelo de la cuenca del Pas

4. 2. 2. 4. Usos del suelo

Los diferentes usos del suelo en una determinada zona tienen un gran impacto en factores tales como la escorrentía superficial derivada de procesos de precipitación. Tormentas intensas son capaces de generar erosión, inundaciones, y difusión de contaminantes, entre otros (Henríquez et al., n.d.), y el resultado final puede diferir mucho en función del uso del suelo. Es por ello que es importante tratar adecuadamente la información relativa a los usos del suelo. En este caso, se ha trabajado con el mapa del SIOSE, que distingue hasta 31 usos diferentes en el área de estudio.

Para reducir el número de categorías, aquellos usos con características similares han sido agrupados. Por ejemplo, los usos “Asentamiento agrícola y huerta” e “Instalación agrícola y/o ganadera” han sido agrupados en la categoría “Granjas agrícolas”, con unos números de curva de 89, 93, 94 y 94, para los tipos A, B, C y D, respectivamente (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2015).

Una vez creadas estas nuevas categorías, he reagrupado las que tenían iguales números de curva, aunque no guardaran una relación evidente. He hecho esto porque, a efectos prácticos, no importa tanto el uso del suelo como el número de curva, que es el que va a determinar el comportamiento del agua. Por ejemplo, he agrupado las categorías “Grandes superficies de equipamientos y servicios” (que contenía los usos “Infraestructura de residuos” e “Infraestructura de suministro”) y la mencionada “Granjas agrícolas”, ya que tienen iguales números de curva para todos los tipos de suelo.

En la Tabla 3 se muestran las categorías finales, una vez hechas ambas agrupaciones, con su número primo correspondiente. Algunas de ellas tienen número de curva diferente para pendientes menores del 3% (BP, baja pendiente) y pendientes iguales o superiores al 3% (GP, gran pendiente). Para cada categoría, se emplea el mismo número primo independientemente del tipo de pendiente, ya que ese factor se tiene en cuenta con su propio número primo. Todos los valores han sido tomados del Apéndice Primero de *Confederación Hidrográfica del Ebro, 2015*.

Nº	Categoría(s)	A	B	C	D
13	Tejido urbano discontinuo	68	78	86	89
17	Zonas verdes urbanas	49	69	78	84
19	Zonas de extracción minera	76	85	89	91
23	Zonas industriales	81	88	91	93
29	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	98	98	98	98
31	Cultivos herbáceos en regadío (BP)	52	67	76	80
	Cultivos herbáceos en regadío (GP)	58	72	81	85
41	Otras zonas de irrigación, cursos de agua y mares y océanos	100	100	100	100
43	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío (BP)	58	70	78	82
	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío (GP)	62	75	84	86
53	Cultivos agrícolas con arbolado adhesado (BP)	39	59	75	84
	Cultivos agrícolas con arbolado adhesado (GP)	49	59	78	85
61	Bosques (frondosas, coníferas y mixto)	36	52	62	69
73	Matorral boscoso de transición	40	60	70	76
79	Mosaico de prados/praderas con espacios significativos de vegetación (BP)	30	48	70	78
	Mosaico de prados/praderas con espacios significativos de vegetación (GP)	42	61	74	80
89	Playas y dunas	25	25	25	25
97	Roquedo y marismas	96	96	96	96
101	Zonas quemadas	77	86	89	93
103	Espacios con vegetación escasa (BP)	47	67	81	88
	Espacios con vegetación escasa (GP)	68	78	86	89
109	Turberas y prados turbosos	17	34	67	76
131	Embalses (almacenamiento de agua)	5	5	5	5
139	Grandes sup. de equipamientos y servicios y granjas agrícolas	89	93	94	94
151	Pastizales, prados o praderas con arbolado (BP)	39	59	75	84
	Pastizales, prados o praderas con arbolado (GP)	49	69	78	85
163	Tejido urbano continuo	98	98	98	98

Tabla 3: Números primos, usos del suelo y números de curva según el tipo de suelo

4. 2. 2. 5. Asignación del número de curva

Para asignar a cada parcela de terreno el número de curva correspondiente, se han generado dos tablas de iguales dimensiones: 42 filas (dos para cada categoría de uso de suelo: una para baja pendiente y otra para gran pendiente, independientemente de si tienen diferente o igual número de curva) y 4 columnas (una para cada tipo de suelo).

- En la primera tabla, se ha ubicado en cada celda el número de curva correspondiente a las categorías de uso de suelo, tipo de suelo y pendiente que corresponden a dicha celda.
- En la segunda tabla, se ha dispuesto en cada celda el producto de los números primos correspondientes a dichas categorías, resultando en un número único en cada celda, que no se repite en ninguna otra.

De este modo, resulta sencillo asignar el número de curva a cada parcela de terreno en ArcGIS. Se ha creado una capa de intersección de las capas de uso de suelo, tipo de suelo y pendiente, que contiene nuevas subdivisiones en las que hay un único valor de uso de suelo, tipo de suelo y pendiente, con sus correspondientes números primos. Se ha calculado, para cada una de estas subdivisiones, el producto de los tres números primos. Por último, mediante la opción “Join”, que emplea las dos tablas que se han creado, se asigna a cada subdivisión el número de curva que le corresponde de acuerdo con su producto de números primos.

A continuación, para obtener los valores de las cinco subcuencas en las que se ha dividido la cuenca del río Pas, se ha calculado la media ponderada de los números de curva de las subdivisiones ubicadas dentro de cada una de ellas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Subcuenca	Número de curva (CN)
S_1	71,84
S_2	72,14
S_3	68,04
S_4	68,66
S_5	72,05

Tabla 4: Números de curva de las subcuencas

4. 3. Precipitaciones diarias máximas

4. 3. 1. Descripción del método

El cálculo de las precipitaciones máximas diarias se va a basar en el método descrito en el documento *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular* del Ministerio de Fomento del Gobierno de España. A diferencia de otros trabajos del mismo ámbito realizados previamente, en los que se empleaban los datos locales de cada una de las estaciones pluviométricas, en este caso se toma una visión más regional de los fenómenos descritos, utilizando los datos de estaciones con comportamientos similares. En este tipo de métodos se definen una serie de regiones homogéneas respecto a determinadas características estadísticas, pudiendo así aprovechar el conjunto de información de que se dispone en estas regiones (Santamaría Arias, 1999).

El método empleado en este trabajo, denominado “índice de avenida”, asume que la variable Y que resulta de dividir, en cada una de las estaciones, los valores de precipitación máximos anuales por su media

$$Y = P/\bar{P} \quad (1)$$

sigue la misma distribución de frecuencia en toda la extensión de una de las regiones de características meteorológicas homogéneas (Santamaría Arias, 1999). La obtención de los cuantiles locales X_t en un punto concreto se basa en reescalar los cuantiles regionales Y_t con el promedio local \bar{P} en base a la fórmula que se muestra a continuación:

$$X_t = Y_t \cdot \bar{P} \quad (2)$$

El documento contiene una serie de mapas y tablas donde se muestran los coeficientes y datos necesarios para llevar a cabo el proceso de obtención de los valores locales de lluvias máximas diarias, que se describe brevemente a continuación (Santamaría Arias, 1999):

- 1) Localizar en los planos el punto geográfico deseado.
- 2) Estimar el coeficiente de variación C_v y el promedio \bar{P} de la máxima precipitación diaria anual.
- 3) Para el periodo de retorno escogido T y el valor obtenido de C_v , obtener el cuantil regional Y_t .
- 4) Calcular el cuantil local deseado X_t , mediante la expresión (2).

4. 3. 2. Determinación de los periodos de retorno

Para especificar los periodos de retorno que se deberán considerar en el proyecto de rediseño del tramo de línea de vía estrecha que motiva este estudio, se ha empleado la Norma de Plataforma correspondiente a Climatología, Hidrología y Drenaje del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias español (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Comité de Normativa, 2020). En dicha norma se incluyen las instrucciones y metodología a seguir para realizar un correcto drenaje en tramos de nueva plataforma ferroviaria, con elementos que abarcan desde el drenaje superficial requerido en toda infraestructura de este tipo, hasta drenes profundos y colectores en los casos que así lo requieran.

En la definición de los periodos de retorno necesarios para el diseño, la norma hace una diferenciación entre las obras de drenaje transversal y las obras de drenaje lineal. A continuación, se muestran los requerimientos recogidos en el documento (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Comité de Normativa, 2020):

- Para el diseño de obras de drenaje transversal, los requisitos incluyen periodos de retorno de 100, 300 y 500 años.
- Para el dimensionamiento del drenaje longitudinal, se considera suficiente un periodo de retorno de 50 años, salvo determinados casos en los que se diseñará con periodos de retorno de 100 años (para grandes trincheras), y 300 o 500 años (en el caso de bajantes).

Por tanto, los periodos de retorno que se considerarán en este estudio son los siguientes:

- 50 años
- 100 años
- 300 años
- 500 años

4. 3. 3. Cálculo de los cuantiles locales

En el documento *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular* el territorio peninsular español ha sido dividido en 26 regiones geográficas de características similares, que se muestran en la Figura 17. Podemos observar en la misma que, tanto la ría de Mogro en concreto, como la cuenca del río Pas en general, se encuentran en la zona 0107.



Figura 17: Mapa de regiones de características similares (Santamaría Arias, 1999)

En primer lugar, como se ha mencionado previamente, se deben localizar en los mapas correspondientes nuestros puntos de interés. Se han escogido como puntos de referencia los centroides de las subcuencas definidos por HEC-HMS. El territorio peninsular se divide a su vez en cuadrículas de iguales dimensiones, con el fin de poder mostrar los diferentes territorios y los parámetros representados sobre ellos con mayor detalle. La cuenca del río Pas se ubica en la cuadrícula 3-1 (Bilbao). En la Figura 18 se muestra parte del mapa de dicha cuadrícula, en el que se observan las isolíneas del coeficiente de variación C_v (en rojo) y el valor medio \bar{P} (en morado), así como la red de carreteras nacionales (en negro) y la red hidrológica (en azul). Superpuesto a dicho mapa, se encuentran las subcuencas delimitadas y los centroides de las mismas (denotados de la forma S_1 y cambiando el número para cada cuenca). En caso de que resulte complicado observar con claridad los letreros de las subcuencas S_3 y S_5, son las que se encuentran más al sur y más al norte, respectivamente.

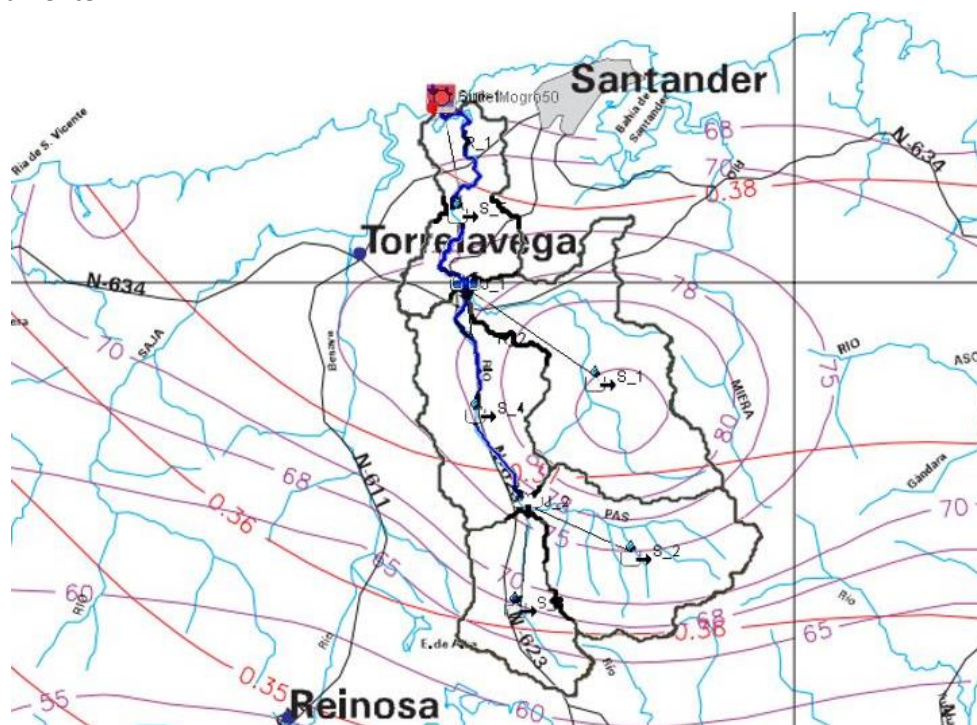


Figura 18: Mapa con las isolíneas de C_v (rojo) y \bar{P} (morado) (Santamaría Arias, 1999)

En base al mapa, extraemos los valores de C_v y \bar{P} para cada subcuenca, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 5:

Subcuenca	C_v	\bar{P} (mm/día)
S_1	0,37	85
S_2	0,37	75
S_3	0,36	68
S_4	0,37	78
S_5	0,38	72,5

Tabla 5: Valores de C_v y \bar{P} por subcuencas

A continuación, se deben obtener los diferentes cuantiles regionales Y_t , en función del coeficiente de variación C_v obtenido, y del periodo de retorno que se considere. Para ello se emplea la tabla incluida en el Apéndice A, extraída de *Máximas lluvias diarias en España Peninsular*, que recoge los coeficientes para todos los periodos de retorno necesario, salvo el caso de 300 años, en el que se ha optado por interpolar entre los valores para 200 y 500 años. En la Tabla 6 se recogen los cuantiles regionales para cada subcuenca y cada periodo de retorno.

Subcuenca	Y_t			
	T=50 años	T=100 años	T=300 años	T=500 años
S_1	2,022	2,281	2,698	2,953
S_2	2,022	2,281	2,698	2,953
S_3	1,991	2,251	2,647	2,892
S_4	2,022	2,281	2,698	2,953
S_5	2,052	2,327	2,749	3,014

Tabla 6: Valores de Y_t para cada subcuenca y periodo de retorno

Finalmente, se obtienen los cuantiles locales X_t mediante la expresión (2), consiguiendo así los valores de las precipitaciones diarias máximas para cada periodo de retorno. Los resultados se muestran a continuación, en la Tabla 7:

Subcuenca	Precipitación diaria máxima por subcuenca (mm/día)			
	P_{d50}	P_{d100}	P_{d300}	P_{d500}
S_1	171,87	193,89	229,33	251,01
S_2	151,65	171,08	202,35	221,48
S_3	135,39	153,07	180,00	196,66
S_4	157,72	177,92	210,44	230,33
S_5	148,77	168,71	199,30	218,52

Tabla 7: Precipitación diaria máxima para cada subcuenca y periodo de retorno

4. 4. Modelos meteorológicos

Una vez determinados los valores de precipitación máxima diaria, se procede a obtener la intensidad de precipitación, que es básicamente el cociente entre la precipitación y el tiempo transcurrido. Aunque conceptualmente se refiere a un instante, suele expresarse en mm/hora (Sánchez San Román F. , Precipitaciones). Para el cálculo de la intensidad de precipitación, se va a seguir la metodología descrita en el documento *Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía* de F. Javier Sánchez San Román, tal y como se muestra a continuación. Para la obtención de los hietogramas, se toma como guía *Obtención del hietograma de diseño*, del mismo autor.

4. 4. 1. Corrección de la precipitación diaria

Se necesitan las precipitaciones diarias máximas para los periodos de retorno deseados, que han sido obtenidas en el apartado 4.3.3. Estos valores deben ser corregidos para cuencas de extensiones superiores a 1 km², para tener en cuenta el hecho de que la precipitación no puede ser homogénea en toda la superficie (Sánchez San Román F. , *Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía*). Para ello se emplea el siguiente factor:

$$K_A = 1 - \frac{\log \text{Superficie (km}^2\text{)}}{15} \quad (3)$$

Se deben multiplicar los valores previos de precipitación diaria calculados para el periodo de retorno elegido (P_d), por K_A , y emplear el valor resultante (P_{dc}) en los sucesivos pasos, tal y como se indica en la siguiente fórmula:

$$P_{dc} = P_d \cdot K_A \quad (4)$$

En este caso, se pretende determinar la respuesta integrada de la cuenca del Pas en su conjunto, por lo que se debe definir un valor de precipitación característico de toda la cuenca, con el fin de obtener los valores de intensidad de precipitación y tiempo de concentración de la misma. Para ello, se compara el mayor de los cinco valores de precipitación máxima diaria obtenidos para las subcuencas en el apartado anterior, con la media ponderada por área de los cinco valores. En caso de que la diferencia resulte reducida (del 10% o menor), se tomará el valor máximo, para permanecer en el lado de la seguridad. En caso contrario, se tomará la media ponderada de los cinco.

Valor	Precipitación diaria máxima en la cuenca del Pas (mm/día)			
	P_{d50}	P_{d100}	P_{d300}	P_{d500}
Medio	156,54	176,76	208,90	228,66
Máximo	171,87	193,89	229,33	251,01
Diferencia (%)	9,79	9,69	9,78	9,77
Valor escogido	171,87	193,89	229,33	251,01

Tabla 8: Comparación del valor medio y máximo de las precipitaciones máximas diarias

Por tanto, se tomarán los siguientes valores: 171,87 mm/día para el periodo de retorno de 50 años, 193,89 mm/día para 100 años, 229,33 mm/día para 300 años, y 251,01 mm/día para 500 años. A continuación, se deben corregir estos valores mediante las expresiones (3) y (4). Si bien la extensión total de la cuenca del Pas es de 661 km², el área que drena a nuestro punto de interés es de 657,6 km². El valor del coeficiente K_A para la cuenca es el siguiente:

$$K_A = 1 - \frac{\log 657,6 \text{ km}^2}{15} = 0,812$$

En la Tabla 9 se recogen los valores de precipitación corregidos:

Precipitación diaria máxima corregida (mm/día)	
P_{dc50}	139,58
P_{dc100}	157,46
P_{dc300}	186,25
P_{dc500}	203,85

Tabla 9: Precipitaciones diarias máximas corregidas

4. 4. 2. Intensidad media diaria

Tal y como ya se ha indicado, la intensidad de precipitación es el cociente entre la precipitación y el tiempo transcurrido. Como estamos hablando de precipitaciones máximas recogidas en un día, se debe dividir dicho valor por las 24 horas en un día para obtener la intensidad media diaria, para obtener las intensidades de precipitación correspondientes, según la siguiente expresión

$$I_d = P_{dc} / 24 \quad (5)$$

en la que I_d se expresa en mm/hora y P_{dc} en mm. En la Tabla 10 se recogen los valores de intensidad de precipitación media diaria para cada subcuenca y periodo de retorno.

Intensidad media diaria (mm/hora)	
I_{d50}	5,82
I_{d100}	6,56
I_{d300}	7,76
I_{d500}	8,49

Tabla 10: Intensidad de precipitación media diaria

4. 4. 3. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda en llegar al punto de salida de la cuenca el agua procedente del punto hidrológicamente más alejado del mismo, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, y máximo (Ibáñez et al., 2008). *Sánchez San Román* emplea la fórmula de la Dirección General de Carreteras:

$$t_c = 0,3 \cdot \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}} \quad (6)$$

donde t_c es el tiempo de concentración en horas, L la longitud del cauce en kilómetros, y S la pendiente media (adimensional). La pendiente media del cauce se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

$$Pendiente = \frac{(Cota\ máxima - Cota\ mínima)}{Longitud\ del\ cauce} \quad (7)$$

Se pueden determinar todas las variables utilizando ArcGIS. La longitud del cauce más largo, que se muestra en la Figura 19, es de 62638 metros. La cota máxima es de 1595 metros sobre el nivel del mar, y la mínima de 1 metro. Por tanto:

$$Pendiente = \frac{(1595 - 1)}{62638} = 0,0254$$

$$t_c = 0,3 \cdot \frac{62,638^{0,76}}{0,0254^{0,19}} = 13,98\ horas$$

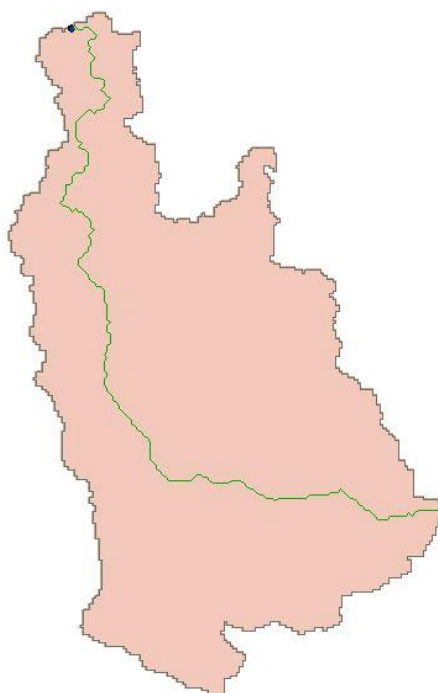


Figura 19: Cuenca del Pas (área rosa) con el cauce más largo (línea verde)

4. 4. 4. Intensidad para un tiempo igual al tiempo de concentración

Para ajustar la intensidad de precipitación al intervalo de tiempo deseado, se puede emplear la siguiente expresión, que relaciona la intensidad media diaria obtenida en el apartado 4.4.2 con la intensidad en la hora más lluviosa del día:

$$I_t = I_d \cdot \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}} \quad (8)$$

donde I_t es la intensidad media en el periodo t , I_d la intensidad media diaria, I_1 la intensidad en la hora más lluviosa de ese día, y t el periodo de tiempo en horas para el que se quiere obtener la intensidad. En este caso, t será igual a t_c , el tiempo de concentración. El cociente I_1/I_d se obtiene directamente del mapa del índice de torrencialidad, la Figura 20, que muestra los valores de dicho cociente tanto para la España peninsular como para los archipiélagos, Ceuta y Melilla (Ministerio de Fomento, 2016, 19). Se puede observar en el mapa que nuestra zona de estudio se incluye en el área con un índice de torrencialidad de 9. Las intensidades de precipitación para el tiempo de concentración de la cuenca del Pas y los diferentes tiempos de retorno se muestran en la Tabla 11.

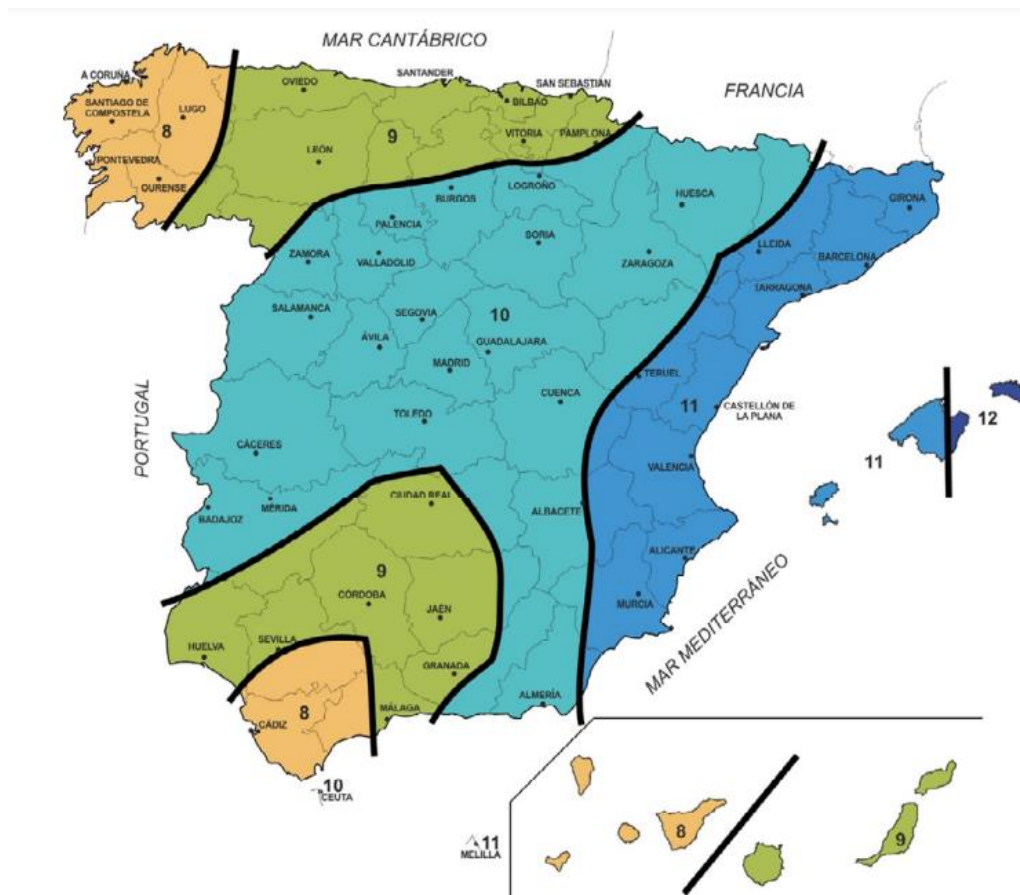


Figura 20: Mapa del índice de torrencialidad (Ministerio de Fomento, 2016)

Intensidad para el tiempo de concentración (mm/hora)	
I_{d50}	9,78
I_{d100}	11,04
I_{d300}	13,05
I_{d500}	14,29

Tabla 11: Intensidad de precipitación para t_c y los diferentes periodos de retorno

4. 4. 5. Cálculo de hietogramas de diseño

En el modelo de HEC-HMS se ha generado un modelo meteorológico que toma la información de las precipitaciones caídas sobre la cuenca a través de un hietograma, que será diferente para cada uno de los periodos de retorno considerados. Para este fin, se empleará el método de bloques alternos, que se basa en las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, siguiendo las pautas descritas por *Sánchez San Román* (Sánchez San Román F. J.). Las diferentes intensidades para cada incremento de tiempo se calculan según la expresión (8).

Para un periodo de retorno concreto, se calculan las intensidades de precipitación para cada intervalo de tiempo. Como el tiempo de concentración en este caso es de 14 horas, se ha tomado un incremento de 2 horas, dando lugar a 7 intervalos. Para cada intervalo, se calcula la precipitación caída durante el mismo, multiplicando la intensidad de precipitación por la duración del intervalo. Por último, se obtiene ΔP restando la precipitación caída en un intervalo menos la caída en el anterior. A modo de ejemplo, para el intervalo de las 4 horas más lluviosas, se resta la precipitación correspondiente a 4 horas menos la correspondiente a las 2 horas más lluviosas, obteniéndose la precipitación que cayó, dentro de esas 4 horas, durante las 2 horas que quedan fuera de las más lluviosas. En las Tablas 12 a 15 se recogen los valores calculados para obtener los hietogramas de diseño.

T=50 años			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	35,13	70,26	70,26
4	22,91	91,65	21,39
6	17,59	105,56	13,92
8	14,49	115,93	10,37
10	12,42	124,19	8,26
12	10,92	131,03	6,84
14	9,78	136,85	5,82

Tabla 12: Valores para el hietograma a 50 años

T=100 años			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	39,63	79,26	79,26
4	25,85	103,38	24,13
6	19,85	119,08	15,70
8	16,35	130,78	11,70
10	14,01	140,09	9,31
12	12,32	147,81	7,72
14	11,03	154,38	6,57

Tabla 13: Valores para el hietograma a 100 años

T=300 años			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	46,87	93,75	93,75
4	30,57	122,28	28,54
6	23,48	140,85	18,57
8	19,34	154,69	13,84
10	16,57	165,71	11,02
12	14,57	174,83	9,13
14	13,04	182,60	7,77

Tabla 14: Valores para el hietograma a 300 años

T=500 años			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	51,30	102,61	102,61
4	33,46	133,84	31,23
6	25,69	154,17	20,32
8	21,16	169,31	15,14
10	18,14	181,37	12,06
12	15,95	191,36	9,99
14	14,28	199,86	8,51

Tabla 15: Valores para el hietograma a 500 años

El hietograma, siguiendo el método de los bloques alternos, se construye del siguiente modo: en el centro, se representa la precipitación acumulada durante las 2 horas más lluviosas. A su derecha, se coloca la registrada en el segundo intervalo más lluvioso. A la izquierda, la registrada en el tercer intervalo más lluvioso; a la derecha el cuarto, y así sucesivamente (Sánchez San Román F. J.). La Figura 21 muestra los hietogramas de diseño para los periodos de retorno considerados.

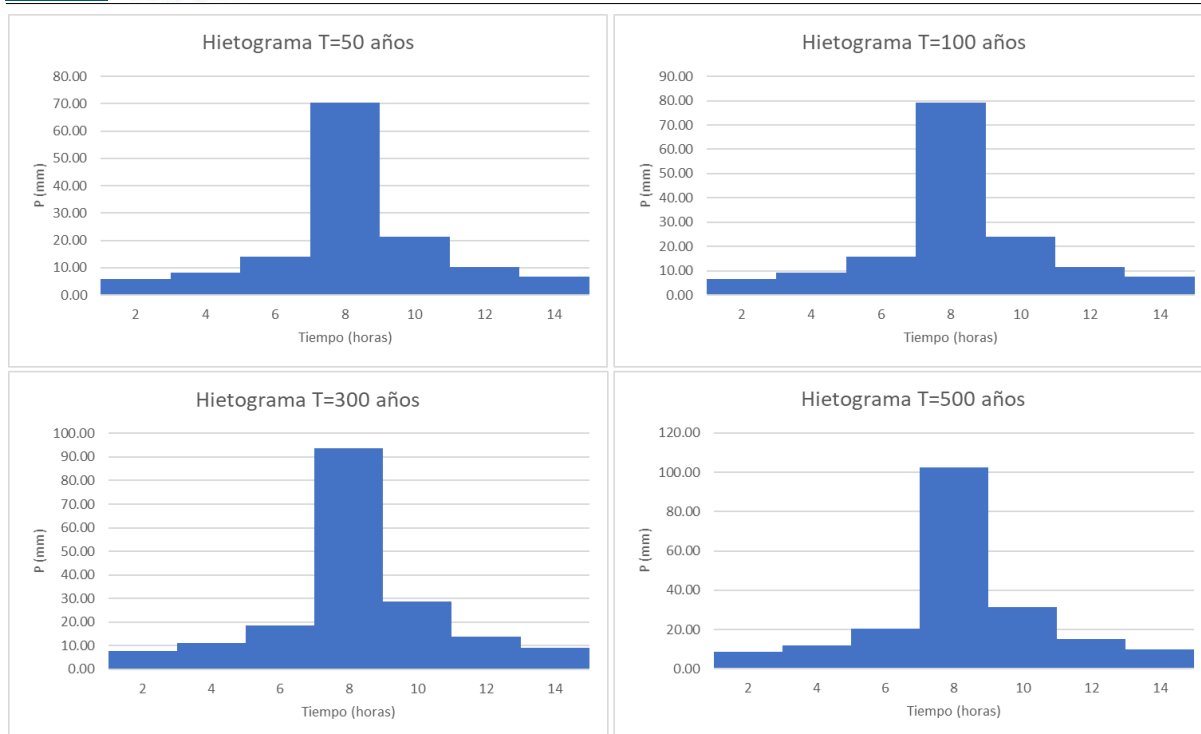


Figura 21: Hietogramas de diseño actuales

4. 5. Distribución de caudales base

Otro dato que debe ser introducido en el modelo de HEC-HMS es la distribución de caudales base a lo largo del año. En este análisis, se va a emplear el método de caudales base mensuales para cada mes. Para su cálculo, se cuenta con los caudales mensuales correspondientes al régimen natural en Puente Viesgo (García de Jalón et al., 2001). Mediante la interpolación de estos datos, se obtendrá la distribución de caudales mensuales en nuestra sección de interés, considerando el área de la cuenca vertiente en cada punto. Empleando ArcGIS podemos obtener el área de la cuenca vertiente en Puente Viesgo, que es de 360,8 km². Teniendo en cuenta que el área de la cuenca vertiente en el entorno de la estación de Mogro es de 657,6 km², podemos estimar el régimen de caudales en dicho punto.

La Tabla 16 muestra los caudales mensuales tanto en Puente Viesgo como en Mogro. En este estudio se considerarán los segundos.

CAUDALES NATURALES (m ³ /s)												
Localización	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Puente Viesgo	16,84	12,31	12,26	15,54	9,43	4,54	4,10	2,33	2,47	8,26	11,37	21,20
Por km ²	0,047	0,034	0,034	0,043	0,026	0,013	0,011	0,006	0,007	0,023	0,032	0,059
Mogro	30,69	22,44	22,35	28,32	17,19	8,27	7,47	4,25	4,50	15,05	20,72	38,64

Tabla 16: Distribución mensual de caudales

4. 6. Método de transformación

Cuando hablamos de métodos o modelos de transformación, nos referimos a modelos de transformación lluvia-escorrentía, es decir, aquellos que nos permiten calcular la transformación de la lluvia o precipitación en escorrentía. Existen diversos métodos para este fin, y en este caso se va a utilizar el método del hidrograma unitario de Clark.

4. 6. 1. Método de Clark

Este método aproxima el funcionamiento de la cuenca en cuestión al de un depósito que almacena el agua que recibe la misma. Si el caudal de entrada de dicho depósito aumenta o disminuye, se producirá una variación en el caudal de salida, de forma amortiguada y retardada, por el recorrido que el agua tiene que realizar desde los puntos más alejados de la salida hasta la misma (Sánchez San Román F. , Hidrograma unitario de Clark).

En HEC-HMS hay disponibles tres métodos para el hidrograma unitario de Clark, en este caso se utilizará el método Standard. En este caso, se requieren dos parámetros: el tiempo de concentración y el coeficiente de almacenamiento, R . Como ya se ha mencionado, el tiempo de concentración es el máximo tiempo de viaje en la cuenca. El coeficiente de almacenamiento se usa para considerar los efectos de almacenamiento.

4. 6. 2. Tiempo de concentración y coeficiente de almacenamiento

El tiempo de concentración ha sido obtenido previamente, para el cálculo de las intensidades de precipitación. En cuanto al coeficiente de almacenamiento, la propia guía del programa facilita una fórmula para su obtención a partir del tiempo de concentración de la cuenca, que es la siguiente (U.S. Army Corps of Engineers, s.f.):

$$\frac{R}{T_c + R} = 0,65 \quad (9)$$

Por tanto, el tiempo de concentración y el coeficiente de almacenamiento serán:

$$t_c = 13,98 \text{ horas}$$

$$\frac{R}{13,98 + R} = 0,65; R = 25,96 \text{ horas}$$

4. 7. Método de tránsito

La finalidad de estos métodos es determinar el hidrograma de un punto de la cuenca a partir del hidrograma de otro punto diferente. Su importancia reside en el hecho de que el pico de una avenida va reduciéndose según nos desplazamos aguas abajo. HEC-HMS ofrece multitud de métodos de este tipo para los elementos de tipo “cauce”, y en este caso se va a emplear el método de Muskingum.

4. 7. 1. Método de Muskingum

El método de Muskingum es un método de tránsito de sistemas agregados, es decir, el flujo se calcula como una función del tiempo exclusivamente, sin realizar un análisis en detalle como el realizado por los modelos hidráulicos. En él, se modela el almacenamiento del flujo en un cauce como la combinación de un prisma y una cuña. El almacenamiento en forma de prisma se mantiene constante a lo largo del cauce, mientras que el almacenamiento en cuña varía en función del caudal de entrada y salida: si el caudal de entrada supera al de salida, se produce una cuña positiva, mientras que es negativa si el caudal de salida es mayor que el de entrada (López Miñano, 2006).

Si se asume que el área de la sección transversal del flujo de avenida es directamente proporcional al caudal en dicha sección, el almacenamiento en prisma será igual a KQ , siendo K un coeficiente de proporcionalidad, y el almacenamiento en cuña será igual a $KX \cdot (I - Q)$, siendo X un factor de calibración que toma valores entre 0 y 0,5. Por tanto, la función de almacenamiento del método de Muskingum es la siguiente (López Miñano, 2006):

$$S = K \cdot (XI + (1 - X) \cdot Q) \quad (10)$$

4. 7. 2. Parámetros de Muskingum

En el modelo de HEC-HMS, cuando se utiliza Muskingum como método de tránsito, se deben introducir los valores del coeficiente K y el factor X .

El coeficiente K es igual a T^* , el tiempo de viaje, que corresponde al tiempo que tarda la onda de crecida en atravesar el tramo de río en cuestión. Se calcula como el cociente entre la longitud del tramo de interés y la velocidad de viaje de la onda de crecida:

$$T^* = \frac{L}{U_F} \quad (11)$$

Para obtener la velocidad de viaje de la onda de crecida, se va a estimar el caudal circulante mediante el método racional. Según este método, el caudal instantáneo máximo se puede calcular como el producto del coeficiente de escorrentía, la intensidad de precipitación para un período igual al tiempo de concentración, y el área de la cuenca hidrográfica. El coeficiente de escorrentía, C , toma un valor de 0 cuando la cuenca absorbe toda la precipitación, y un valor de 1 cuando la cuenca es impermeable, y toda la precipitación produce escorrentía.

$$Q_p = C \cdot I \cdot A \quad (12)$$

Donde Q_p es el caudal máximo (m^3/s), C el coeficiente de escorrentía (adimensional), I la intensidad de precipitación para el tiempo de concentración (m/s), y A el área de la cuenca (m^2).

Debido a la similitud con el concepto del número de curva (CN) del método del SCS, se aproximará el coeficiente de escorrentía como $CN/100$, siendo CN el número de curva de toda la cuenca del Pas, obtenido como la media ponderada de los números de curva de las cinco subcuencas.

$$CN = \frac{71,84 \cdot 200,68 + 72,14 \cdot 151,76 + 68,04 \cdot 83,96 + 68,66 \cdot 129,80 + 72,05 \cdot 91,400}{200,68 + 151,76 + 83,96 + 129,80 + 91,400} = 70,83$$

$$C \cong \frac{CN}{100} = 0,7083$$

La Tabla 17 recoge los caudales máximos calculados a partir de las intensidades de precipitación para cada período de retorno. A fin de simplificar el procedimiento, se va a emplear el mismo valor de caudal para los dos tramos que considera el modelo.

Caudales pico (m^3/s) - Método racional	
Q_{pt50}	1265,75
Q_{pt100}	1427,89
Q_{pt300}	1688,92
Q_{pt500}	1848,55

Tabla 17: Caudales máximos obtenidos mediante el método racional

Para obtener la velocidad de viaje de la onda de crecida, U_F , se considera un caudal igual al 75% del caudal de pico. Con este caudal, se obtendrá la velocidad del flujo, U , a partir del calado (Y) y la anchura del cauce (B). Se toma un valor del coeficiente n de Manning de 0,040, de acuerdo con las tablas de HEC-RAS, para un curso con cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas. Se toma una anchura media del cauce (B) de 55 metros para el tramo 1 (curso bajo) y de 25 metros para el tramo 2 (curso medio-alto). La pendiente (S) es de 0,00250 para el tramo 1, y de 0,00770 para el tramo 2. La Tabla 18 muestra los calados para ambos tramos y cada periodo de retorno.

$$Q = 0,75 \cdot Q_p = \frac{Y^{5/3} \cdot S^{1/2} \cdot B}{n} \quad (13)$$

Calado para $Q=0,75Q_p$ (m)				
Tramo	Y_{50}	Y_{100}	Y_{300}	Y_{500}
1	4,83	5,19	5,74	6,06
2	5,53	5,95	6,58	6,95

Tabla 18: Calado en los tramos 1 y 2

Una vez obtenido el calado, se puede determinar la velocidad del flujo, U , y la velocidad de viaje de la onda de crecida, U_F , según las siguientes expresiones.

$$U = \frac{Y^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad (14)$$

$$U_F = \frac{5}{3} \cdot U \quad (15)$$

Los resultados se recogen en la Tabla 19:

Velocidades del flujo y de la onda de crecida								
Tramo	50 años		100 años		300 años		500 años	
	U (m/s)	U _F (m/s)	U (m/s)	U _F (m/s)	U (m/s)	U _F (m/s)	U (m/s)	U _F (m/s)
1	3,57	5,95	3,75	6,25	4,01	6,68	4,16	6,93
2	6,86	11,43	7,20	12,00	7,70	12,83	7,98	13,30

Tabla 19: Velocidades del flujo y de la onda de crecida

El último paso consiste en obtener T^* , el tiempo de viaje de la onda de crecida, que es igual a K . Se calcula mediante la expresión (11), y los resultados aparecen recogidos en la Tabla 20.

Valores del coeficiente de proporcionalidad K					
Tramo	L (m)	K_{t50} (h)	K_{t100} (h)	K_{t300} (h)	K_{t500} (h)
1	18000	0,840	0,800	0,748	0,722
2	20800	0,505	0,482	0,450	0,434

Tabla 20: Valores del coeficiente de proporcionalidad K

En cuanto al factor de calibración X , como se ha comentado previamente, toma valores entre 0 (cuando no existe cuña) y 0,5 (cuando la cuña está completamente desarrollada). Para flujos naturales, su valor se encuentra entre 0 y 0,3, siendo el valor medio cercano a 0,2. No es necesario conseguir una gran precisión en la determinación de este factor, ya que los resultados del método son relativamente insensibles a su valor (López Miñano, 2006). Por tanto, se considerará un valor de X igual a 0,2.

4. 8. Modelado del efecto del cambio climático

Como ya se ha mencionado, este estudio no solo tiene como finalidad analizar el comportamiento hidrológico del río Pas en el entorno de la estación de Mogro en respuesta a fenómenos correspondientes al momento actual, sino que también se busca caracterizar la evolución futura del mismo. El objetivo es estudiar cuál será la situación durante un período de tiempo que se aproxime a la vida útil de los elementos que conforman la línea ferroviaria que sufre los conocidos problemas de inundación. A modo de ejemplo, el carril suele renovarse cada 25 años, las traviesas y sujeciones cada 30 años, y el balasto cada 20 a 30 años (Centro de Innovación del Transporte, CENIT, 2008), pero puede tomarse como referencia un período medio de 30 años.

Para evaluar el comportamiento futuro del río, se introducirán los efectos del cambio climático en el análisis. Para ello, se tomarán los datos del visor de escenarios de cambio climático de AdapteCCa (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, s.f.) de precipitación máxima en 24 horas, misma variable de la que se ha partido para realizar el estudio del comportamiento en la actualidad. Dicho visor contempla dos escenarios futuros, el RCP 4.5 y el RCP 8.5, además de un tercero histórico. El primero de ellos es un escenario de estabilización, en el que las emisiones alcanzan su máximo a mediados del siglo XXI, para empezar a disminuir a partir de ese punto, gracias a la implementación de una serie de tecnologías y estrategias destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero. El segundo escenario es más pesimista, resultante de la falta de esfuerzos para la reducción de las emisiones, en el que el crecimiento de estas continúa a lo largo de todo el siglo XXI (San José et al., 2015). Con el objetivo de situarnos en el peor de los casos, se tomarán los datos del escenario RCP 8.5. La información proporcionada por esta fuente procede tanto de la iniciativa internacional Euro-CORDEX como de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Se ha escogido analizar la precipitación en el futuro medio (2041-2070), ya que este estudio se ha realizado en el año 2021 y, como se ha comentado, la vida útil aproximada es de unos 30 años. La información extraída es de escala municipal, por lo que los valores para cada subcuenca se han tomado de un municipio diferente:

- Subcuenca 1: Selaya
- Subcuenca 2: Vega de Pas
- Subcuenca 3: Luena
- Subcuenca 4: Santiurde de Toranzo
- Subcuenca 5: Piélagos

En cada uno de los casos, se ha comparado el promedio de las precipitaciones máximas diarias del período 2041-2070 con el promedio del período histórico 1971-2000, ambos del modelo de AdapteCCa. Utilizando para los dos casos los datos del modelo, se consigue reducir el posible error, haciendo el análisis más robusto. Se calcula el cociente entre las precipitaciones máximas futuras y las pasadas, y se multiplican los valores de precipitación procedentes de *Máximas lluvias diarias en la España peninsular* (Santamaría Arias, 1999), obteniendo así una buena aproximación de los valores futuros. En la Tabla 21 se recogen los promedios de las precipitaciones máximas diarias futuras e históricas, según el modelo de AdapteCCa, así como la relación entre ellas.

Municipio (subcuenca)	P _{máx} 2041-2070 (mm)	P _{máx} 1971-2000 (mm)	P _{máx} 2041-2070/P _{máx} 1971-2000
Selaya (S_1)	81,98	79,88	1,026
Vega de Pas (S_2)	75,78	74,01	1,024
Luena (S_3)	70,25	68,88	1,020
Santiurde de Toranzo (S_4)	75,06	72,76	1,032
Piélagos (S_5)	70,79	66,24	1,069

Tabla 21: Precipitaciones máximas según el modelo de AdapteCCa

Multiplicando los valores de precipitación diaria máxima procedentes de *Máximas lluvias diarias en la España peninsular* (Santamaría Arias, 1999) de la Tabla 7 por los factores de la columna derecha de la Tabla 21, obtenemos los valores que se muestran en la Tabla 22.

Subcuenca	Precipitación diaria máxima (mm/día) 2041-2070			
	P_{d50}	P_{d100}	P_{d300}	P_{d500}
S_1	176,41	199,00	235,38	257,63
S_2	155,27	175,15	207,18	226,76
S_3	138,08	156,11	183,57	200,56
S_4	162,71	183,55	217,10	237,62
S_5	159,00	180,31	213,01	233,54

Tabla 22: Precipitaciones diarias máximas futuras

De igual forma que en el apartado 4.4.1, se tomará para cada período de retorno el valor máximo de entre los de las cinco subcuencas para el resto del proceso. Además, los valores escogidos se corregirán para tener en cuenta el hecho de que la precipitación no puede ser homogénea en toda la superficie, multiplicándolos por $K_A=0,812$. Finalmente, los valores de precipitación diaria máxima corregida se recogen en la Tabla 23.

Precipitación diaria máxima corregida (mm/día) 2041-2070	
P_{dc50}	143,27
P_{dc100}	161,62
P_{dc300}	191,16
P_{dc500}	209,23

Tabla 23: Precipitaciones diarias máximas futuras corregidas

Las intensidades de precipitación media diaria y para el tiempo de concentración de la cuenca se han calculado de la misma manera que en los apartados 4.4.2 y 4.4.4. Los valores resultantes se recogen en la Tabla 24.

Intensidad (mm/hora) 2041-2070				
	I_{d50}	I_{d100}	I_{d300}	I_{d500}
Intensidad media diaria	5,97	6,73	7,97	8,72
Intensidad para t_c	10,04	11,33	13,40	14,66

Tabla 24: Intensidades de precipitación futuras

A continuación, se han obtenido los hietogramas de diseño para el período 2041-2070, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 4.4.5. En las Tablas 25 a 28 se recogen los valores necesarios para la obtención de los hietogramas de diseño, que se muestran en la Figura 22.

T=50 años (2041-2070)			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	36,06	72,11	72,11
4	23,52	94,06	21,95
6	18,06	108,35	14,28
8	14,87	118,99	10,64
10	12,75	127,46	8,47
12	11,21	134,49	7,02
14	10,03	140,46	5,98

Tabla 25: Valores para el hietograma a 50 años (2041-2070)

T=100 años (2041-2070)			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	40,67	81,35	81,35
4	26,53	106,11	24,76
6	20,37	122,23	16,11
8	16,78	134,23	12,01
10	14,38	143,79	9,56
12	12,64	151,71	7,92
14	11,32	158,46	6,74

Tabla 26: Valores para el hietograma a 100 años (2041-2070)

T=300 años (2041-2070)			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	48,11	96,22	96,22
4	31,38	125,51	29,29
6	24,10	144,57	19,06
8	19,85	158,77	14,20
10	17,01	170,08	11,31
12	14,95	179,45	9,37
14	13,39	187,42	7,98

Tabla 27: Valores para el hietograma a 300 años (2041-2070)

T=500 años (2041-2070)			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	52,66	105,32	105,32
4	34,34	137,37	32,06
6	26,37	158,23	20,86
8	21,72	173,78	15,54
10	18,62	186,15	12,37
12	16,37	196,41	10,25
14	14,65	205,14	8,73

Tabla 28: Valores para el hietograma a 500 años (2041-2070)

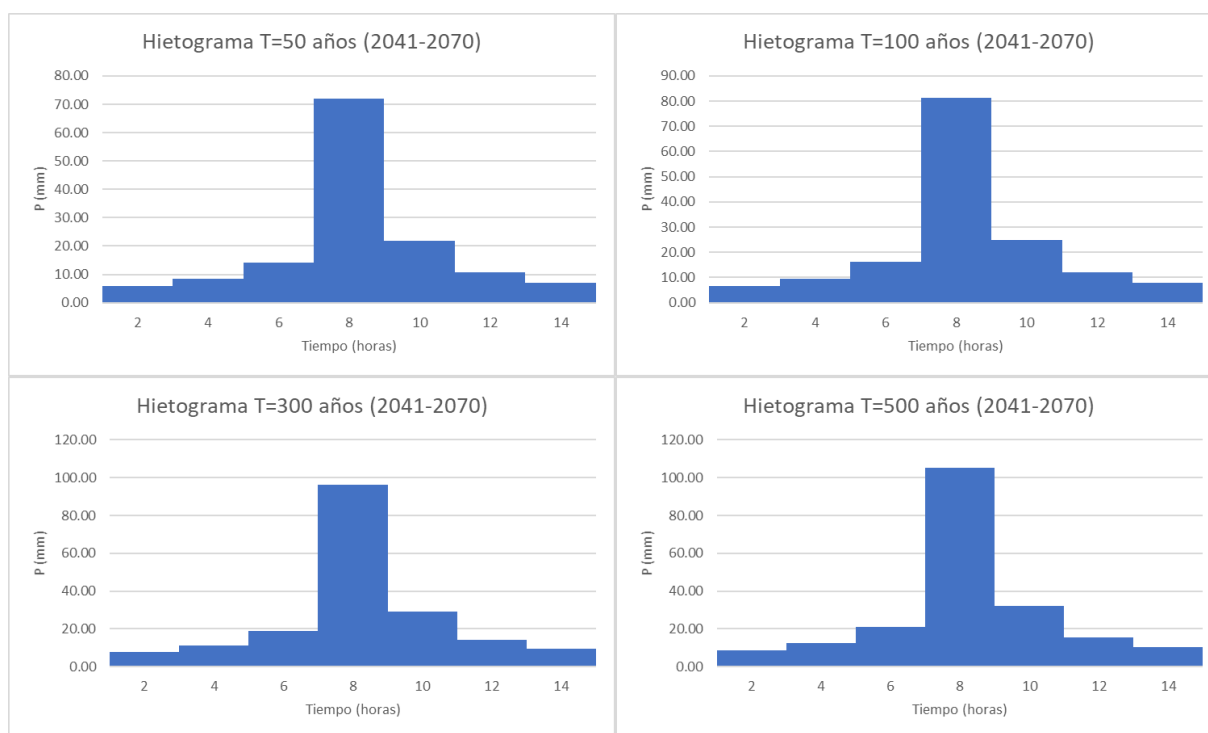


Figura 22: Hietogramas de diseño futuros

A fin de definir por completo los parámetros, cabe mencionar que en el modelo de HEC-HMS se van a emplear los mismos valores de tiempo de concentración t_c (13,98 horas), coeficiente de almacenamiento R (25,96 horas), caudales base, coeficientes K de Muskingum y factor de calibración X igual a 0,2.

4. 9. Determinación de la cota de la lámina de agua

Tal y como se ha mencionado previamente, para obtener la cota de la superficie libre correspondiente a los distintos períodos de retorno se ha empleado el software HEC-RAS. Al igual que HEC-HMS, se trata de un programa libre desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, empleado para modelizar las características hidráulicas de flujos naturales (ríos, arroyos) o artificiales (canales). Una de las finalidades de este programa es determinar la llanura de inundación, a partir de información tanto de la geometría de la zona de estudio como del flujo regular de los caudales que circulan, en este caso, por el río Pas en Mogro.

4. 9. 1. Datos geométricos del modelo

La obtención de un modelo hidráulico correcto necesita de un modelo del terreno preciso y una serie de elementos geométricos que representen cómo será el flujo del agua a través del sistema fluvial. Para un modelo 1-D (como es el caso), estos elementos son: las líneas que indican el eje del río, sus orillas o líneas de ribera, las trayectorias del flujo sobre las riberas, secciones transversales, y puentes, entre otros (U.S. Army Corps of Engineers, s.f.).

Se ha escogido el modelo digital del terreno PNOA con paso de malla de 5 metros, en la hoja 0034-0604, en la que se ubica el punto de interés y un tramo del río lo suficientemente extenso (más de 3 kilómetros) para esta aplicación, tanto aguas arriba como aguas abajo de la intersección con la línea de ferrocarril. Tras definir el eje del río, las riberas y las trayectorias del flujo, se han obtenido las secciones transversales necesarias para definir adecuadamente la geometría de la zona, perpendicularmente a las líneas del flujo. En la Figura 23 se muestra el MDT, el eje del río Pas, y las secciones transversales.

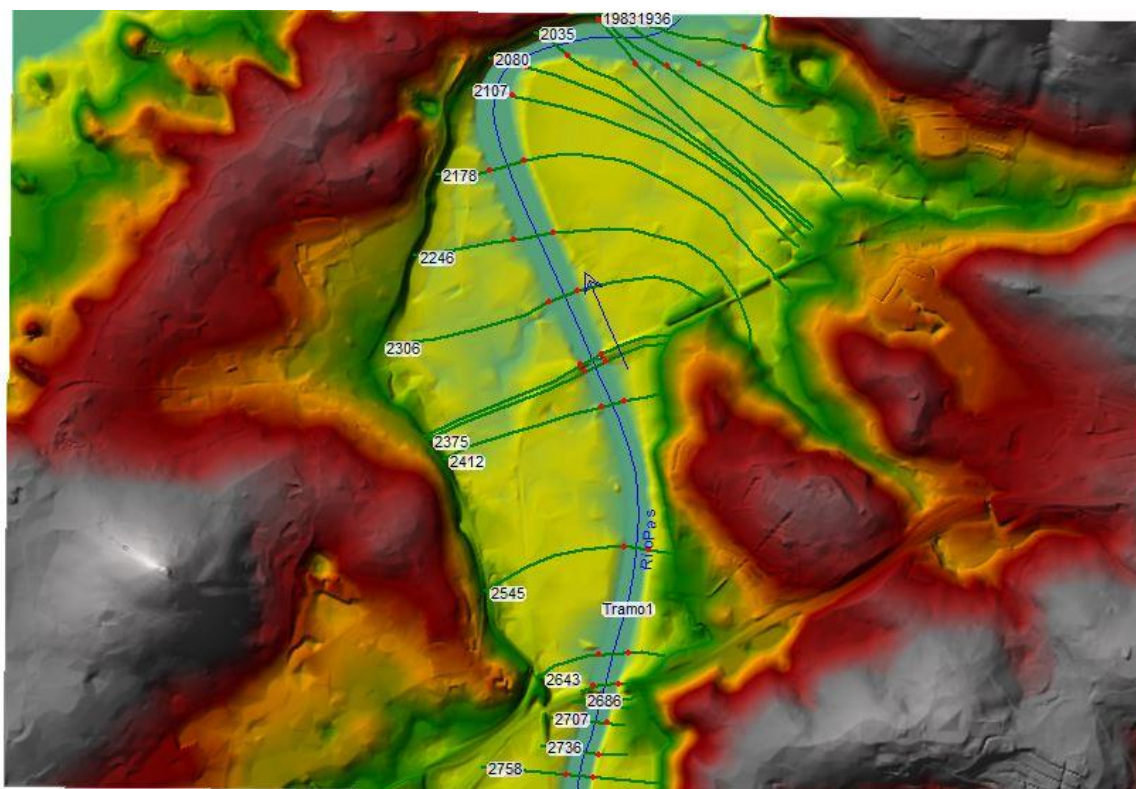


Figura 23: Geometría básica del modelo HEC-RAS

Se han tomado unos valores del coeficiente de Manning, n , de 0,06 para las llanuras inundables, y de 0,04 para el cauce principal, en todas las secciones del río, siguiendo las pautas del documento que se ha tomado como referencia para preparar la geometría del modelo (Dey et al.).

Una vez definida la geometría básica del modelo, se deben incluir los elementos especiales en el mismo. En este caso, encontramos dos puentes: el propio puente del ferrocarril de vía estrecha, y el puente de la autovía A-67, situado aguas arriba (en la parte inferior de la Figura 23). En el primero de los casos, a falta de datos concretos sobre la estructura, se ha asumido una sección de 0,70 metros de canto y anchura de 9 metros, con su cara superior a una cota de 4,30 metros, y dos series de pilas de 2 metros de ancho (con una luz de 50 metros entre ellas). En el segundo caso, sí se ha encontrado información relativa al viaducto (INECO, 2018): tablero de 2,25 metros de canto, 26 metros de ancho total y pilas de 1,80 metros de diámetro. Se ha asumido una ligera pendiente ascendente de izquierda a derecha (si observamos desde aguas arriba hacia aguas abajo).

4. 9. 2. Datos del flujo del modelo

Para este fin se van a emplear los caudales máximos proporcionados por el modelo de HEC-HMS (recogidos en las Tablas 29 y 30). Al tratarse del curso bajo del río, muy próximo a la desembocadura, el régimen es lento. Por tanto, la información del flujo se transmite desde aguas abajo hacia aguas arriba. Es por ello que la sección de control se encuentra en la sección 1936, la más cercana al Mar Cantábrico. Esta zona experimenta una gran variabilidad, debida principalmente a la marea astronómica, por lo que se asume que la condición más desfavorable tiene lugar durante la pleamar. Se ha tomado como condición de contorno una superficie libre aguas abajo de 2,52 metros, que es la máxima para la cual el nivel de la superficie libre en el cauce principal no rebosa por encima de las márgenes naturales del río desde la sección 2035 hacia aguas arriba. Se ha determinado que el caudal a considerar para que no se produzca el desbordamiento es el de período de retorno de 10 años en la situación actual, ya que es lo que mejor se ajusta a las condiciones reales. La sección 1936 está lo suficientemente adentrada en el estuario como para que las diferencias en la superficie libre en ese punto debidas a los eventos de avenida procedentes de la cuenca puedan considerarse pequeñas en comparación con otros factores, por lo que el nivel de 2,52 metros se tomará para todos los caudales considerados.

Para poder obtener dicho calado, ha sido necesario determinar el caudal de avenida para un período de retorno de 10 años, siguiendo la metodología descrita en los apartados 4.3 a 4.7. La Tabla 29 resume algunos de los parámetros obtenidos en el proceso, que requieren ser recalculados para el nuevo período de retorno e introducidos en el modelo de cuenca de HEC-HMS. La Tabla 30 incluye los valores del hietograma de diseño a 10 años.

Tabla resumen para la simulación a 10 años	
Precipitación diaria máxima corregida (mm/día)	100,86
Intensidad media diaria (mm/hora)	4,20
Coeficiente K de Muskingum, tramo 1	0,956
Coeficiente K de Muskingum, tramo 2	0,575
Coeficiente X de Muskingum	0,2
Caudal máximo (m ³ /s)	365,4

Tabla 29: Tabla resumen de parámetros para la simulación a 10 años

T=10 años			
t (horas)	I (mm/h)	P (mm)	ΔP (mm)
2	25,38	50,77	50,77
4	16,55	66,22	15,45
6	12,71	76,27	10,06
8	10,47	83,77	7,49
10	8,97	89,73	5,97
12	7,89	94,67	4,94
14	7,06	98,88	4,21

Tabla 30: Valores para el hietograma a 10 años (actual)

5. RESULTADOS

5. 1. Situación actual

Para realizar la simulación en el modelo de HEC-HMS, se ha considerado una duración de 134 horas, es decir, el tiempo de concentración (de 14 horas) más 5 días adicionales. De esta forma, se puede apreciar el efecto del evento de precipitación en nuestro punto de interés con una perspectiva adecuada. Se ha tomado un intervalo o salto de tiempo de 30 minutos para la obtención de los hidrogramas, y de 2 horas para la obtención de las tablas con las series temporales en la ubicación de estudio. Los hidrogramas se muestran a continuación en las Figuras 24 a 27, mientras que las tablas se incluyen en el Apéndice B.

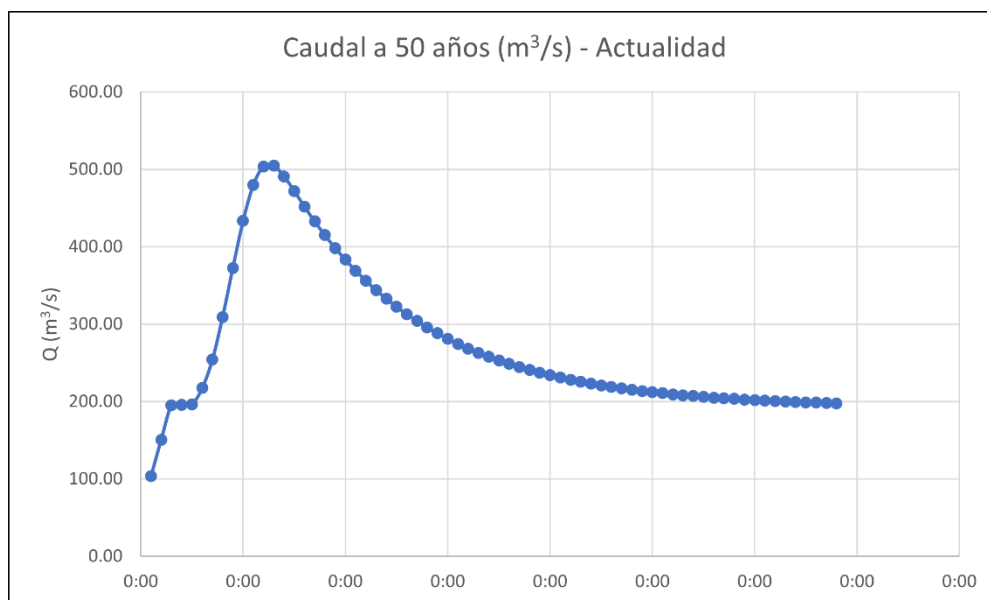


Figura 24: Hidrograma actual para período de retorno de 50 años

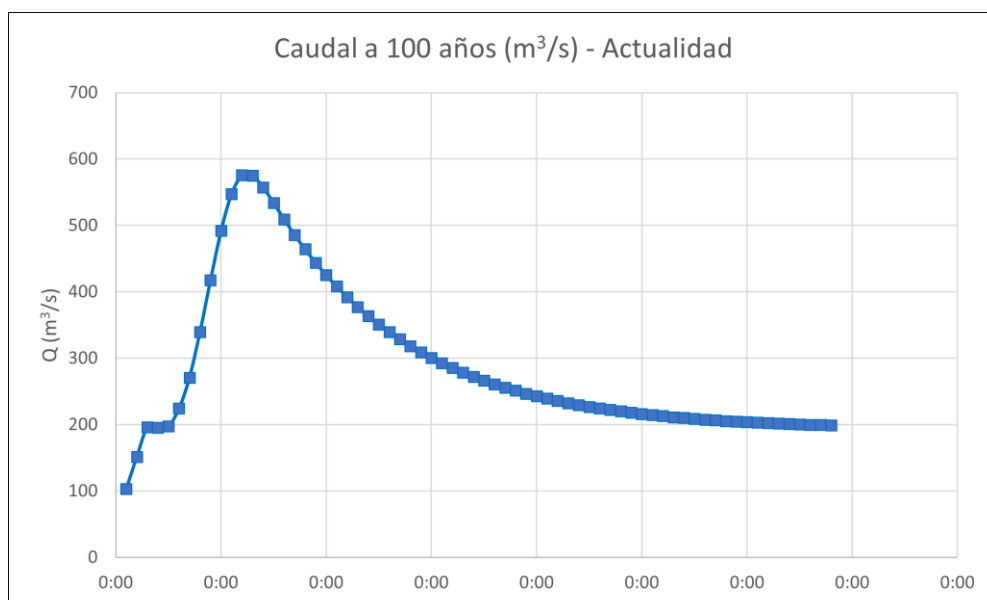


Figura 25: Hidrograma actual para período de retorno de 100 años

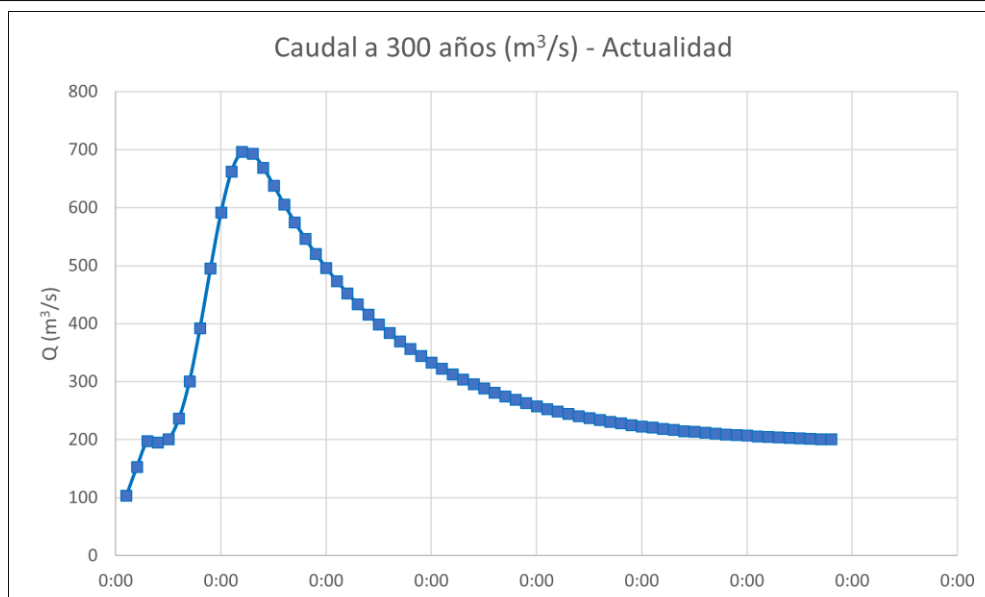


Figura 26: Hidrograma actual para período de retorno de 300 años

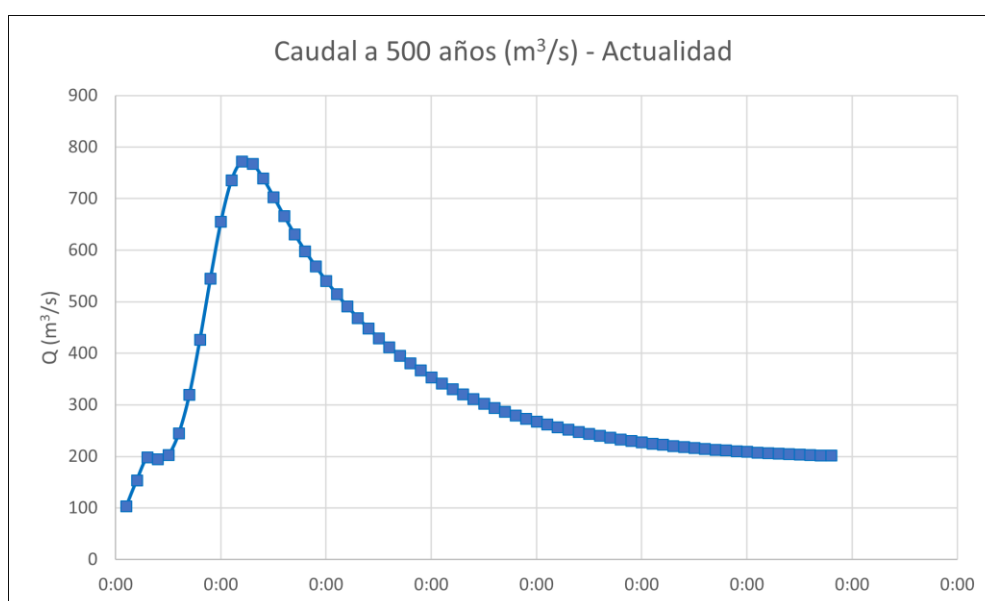


Figura 27: Hidrograma actual para período de retorno de 500 años

Los caudales máximos circulantes en la desembocadura de la cuenca considerada por el modelo actual son los mostrados en la Tabla 29:

Caudales máximos actuales	
Período de retorno	$Q_{\text{máx}}$ (m^3/s)
50 años	508,6
100 años	580,5
300 años	701,7
500 años	778,1

Tabla 31: Caudales máximos actuales en Mogro para cada período de retorno

Las cotas de la superficie del agua obtenidas con HEC-RAS en las secciones aguas arriba del puente de la línea de ferrocarril de vía estrecha para los diferentes períodos de retorno se muestran en las Tablas 32 a 34, con los datos para 300 años de período de retorno resaltados por ser los requeridos por la norma del administrador ferroviario ADIF. La información completa para la sección inmediatamente aguas arriba del puente se encuentra en el Apéndice D. En la Figura 28 se observan las zonas de la llanura que quedan inundadas en función del período de retorno.

Cota de la superficie del agua (Sección 2375, actualidad)			
Período de retorno	$z_{\text{máx}}$ (m)	$z_{\text{mín canal}}$ (m)	$\Delta z_{\text{máx}}$ (m)
50 años	3,38	-0,03	3,41
100 años	3,51	-0,03	3,54
300 años	3,72	-0,03	3,75
500 años	3,83	-0,03	3,86

Tabla 32: Cota de la superficie del agua en la sección 2375 (actualidad)

Cota de la superficie del agua (Sección 2412, actualidad)			
Período de retorno	$z_{\text{máx}}$ (m)	$z_{\text{mín canal}}$ (m)	$\Delta z_{\text{máx}}$ (m)
50 años	3,45	-0,03	3,48
100 años	3,59	-0,03	3,62
300 años	3,80	-0,03	3,83
500 años	3,92	-0,03	3,95

Tabla 33: Cota de la superficie del agua en la sección 2412 (actualidad)

Cota de la superficie del agua (Sección 2545, actualidad)			
Período de retorno	$z_{\text{máx}}$ (m)	$z_{\text{mín canal}}$ (m)	$\Delta z_{\text{máx}}$ (m)
50 años	3,63	-0,03	3,66
100 años	3,78	-0,03	3,81
300 años	4,01	-0,03	4,04
500 años	4,13	-0,03	4,16

Tabla 34: Cota de la superficie del agua en la sección 2545 (actualidad)

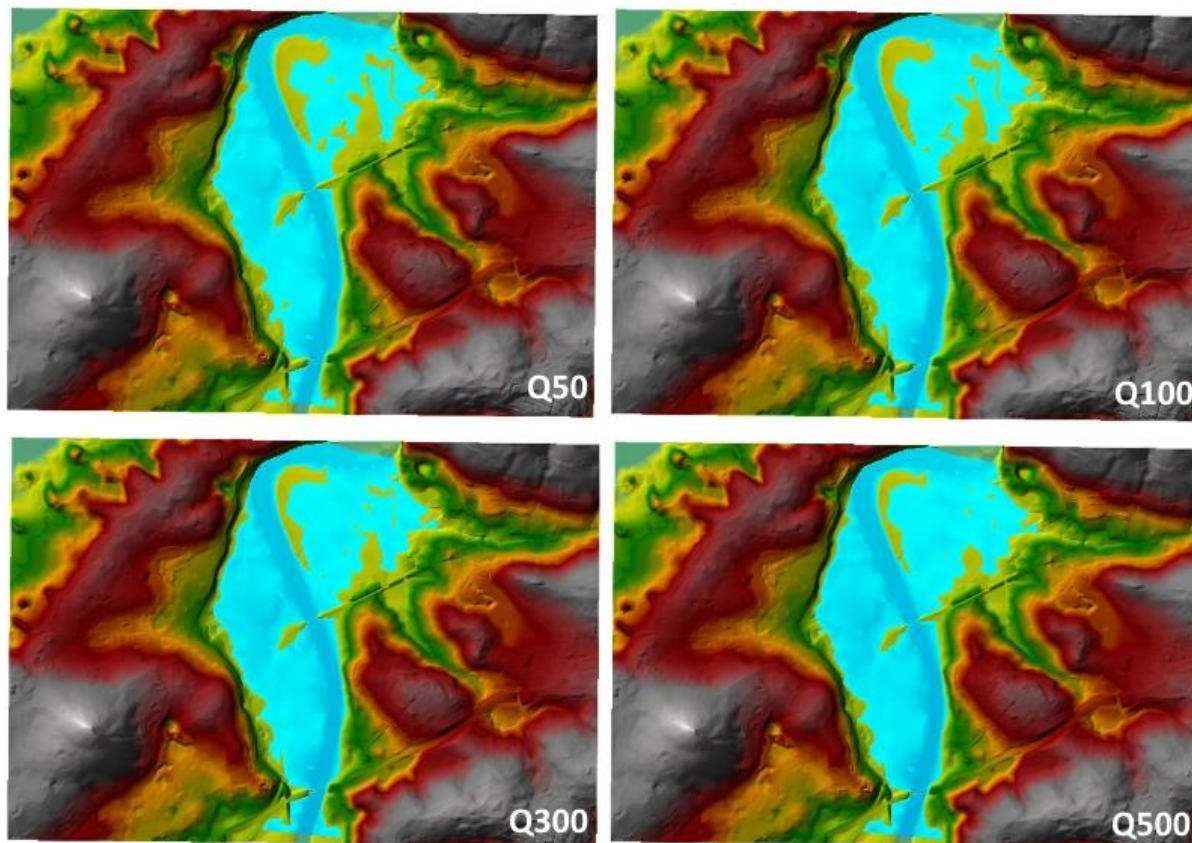


Figura 28: Zona inundada de la llanura (actualidad)

5. 2. Situación futura

Antes de ejecutar el modelo, se deben modificar todos aquellos parámetros y datos que varían con respecto a la simulación de la situación actual. Para la simulación de la situación futura se ha considerado la misma duración que para la situación actual, de 134 horas, ya que el tiempo de concentración no varía. Del mismo modo, se ha tomado un intervalo o salto de tiempo de 30 minutos para la obtención de los hidrogramas, y de 2 horas para la obtención de las tablas con las series temporales en la localización de estudio. Los hidrogramas se muestran a continuación en las Figuras 29 a 32, mientras que las tablas se incluyen en el Apéndice C.

Los caudales máximos circulantes en la desembocadura de la cuenca considerada por el modelo actual son los mostrados en la Tabla 35:

Caudales máximos (2041-2070)		
Período de retorno	$Q_{\text{máx}}$ (m^3/s)	Diferencia vs. actual (m^3/s)
50 años	523,1	+14,5
100 años	597,6	+17,1
300 años	722,8	+21,1
500 años	801,7	+23,6

Tabla 35: Caudales máximos en Mogro para cada período de retorno (2041-2070)

Las cotas de la superficie del agua obtenidas con HEC-RAS en las secciones aguas arriba del puente de la línea de ferrocarril de vía estrecha para los diferentes períodos de retorno en el período 2041-2070 se muestran en las Tablas 36 a 38, con los datos para 300 años de período de retorno resaltados por ser los requeridos por la normativa de ADIF. La información completa para la sección inmediatamente aguas arriba del puente se encuentra en el Apéndice D también para la situación futura. En la Figura 33 se observan las zonas de la llanura que quedan inundadas en función del período de retorno.

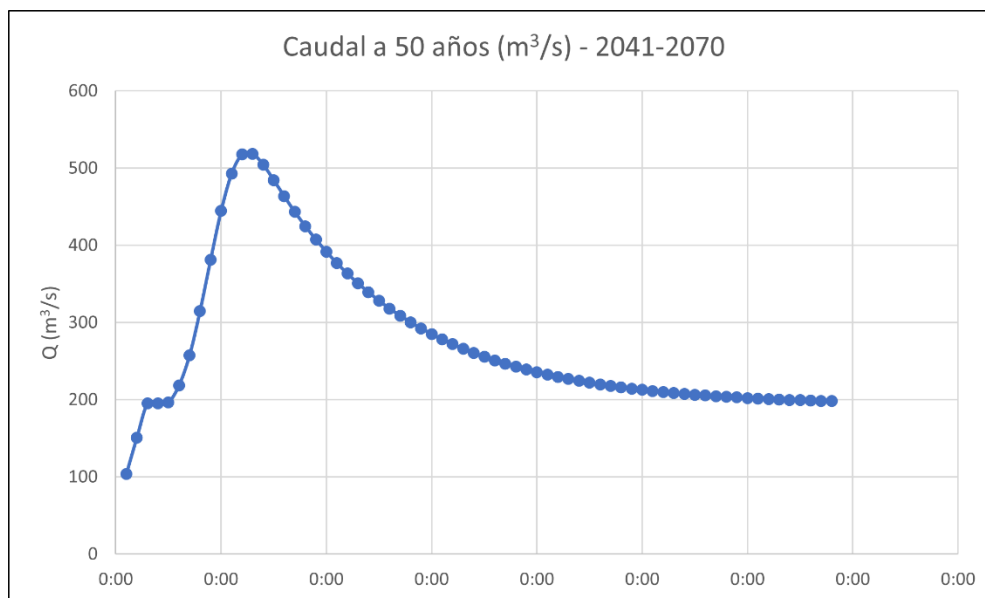


Figura 29: Hidrograma para período de retorno de 50 años (2041-2070)

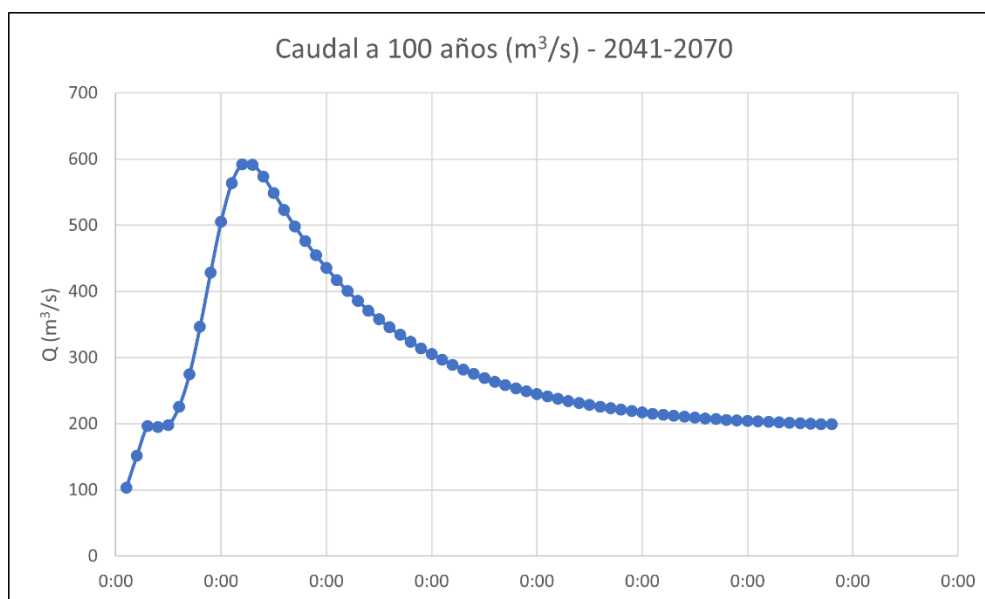


Figura 30: Hidrograma para período de retorno de 100 años (2041-2070)

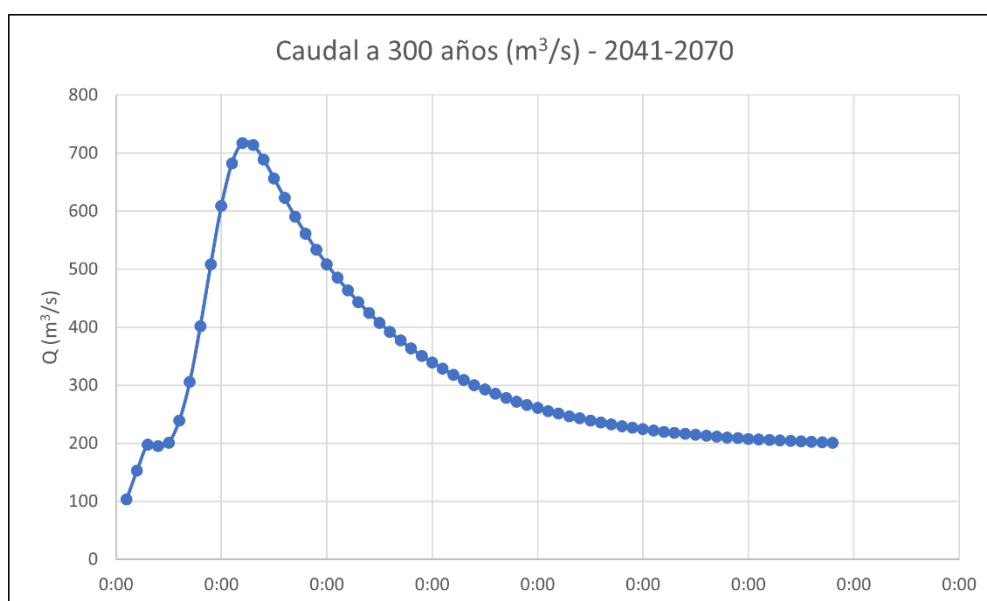


Figura 31: Hidrograma para período de retorno de 300 años (2041-2070)

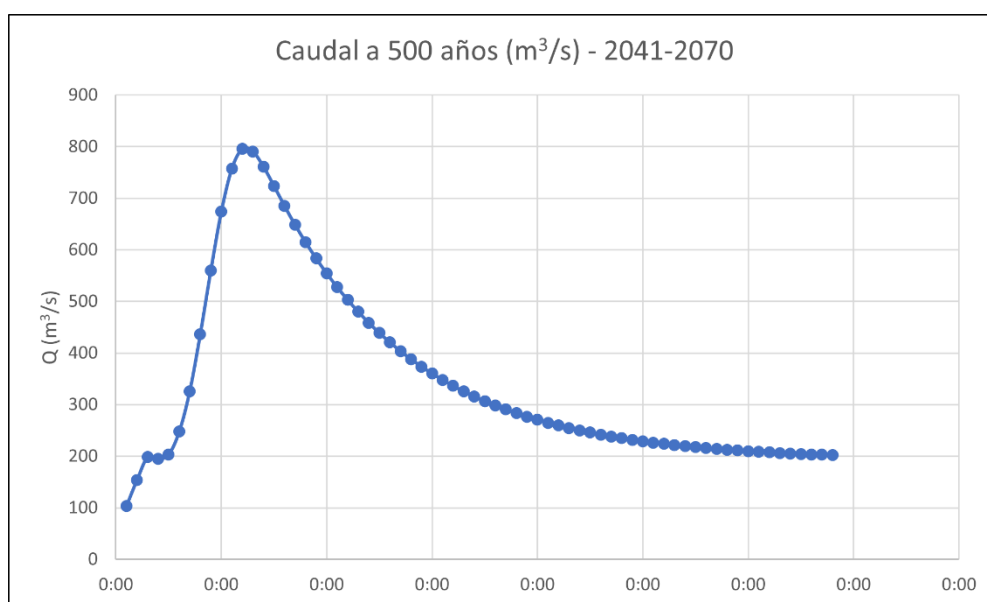


Figura 32: Hidrograma para período de retorno de 500 años (2041-2070)

Cota de la superficie del agua (Sección 2375, período 2041-2070)			
Período de retorno	$z_{\text{máx}}$ (m)	$z_{\text{mín canal}}$ (m)	Δz (m)
50 años	3,41	-0,03	3,34
100 años	3,54	-0,03	3,57
300 años	3,75	-0,03	3,78
500 años	3,86	-0,03	3,89

Tabla 36: Cota de la superficie del agua en la sección 2375 (2041-2070)

Cota de la superficie del agua (Sección 2412, período 2041-2070)			
Período de retorno	$z_{\text{máx}}$ (m)	$z_{\text{mín canal}}$ (m)	$\Delta z_{\text{máx}}$ (m)
50 años	3,48	-0,03	3,51
100 años	3,62	-0,03	3,65
300 años	3,83	-0,03	3,86
500 años	3,96	-0,03	3,99

Tabla 37: Cota de la superficie del agua en la sección 2412 (2041-2070)

Cota de la superficie del agua (Sección 2545, período 2041-2070)			
Período de retorno	$z_{\text{máx}}$ (m)	$z_{\text{mín canal}}$ (m)	$\Delta z_{\text{máx}}$ (m)
50 años	3,66	-0,03	3,69
100 años	3,81	-0,03	3,84
300 años	4,04	-0,03	4,07
500 años	4,17	-0,03	4,20

Tabla 38: Cota de la superficie del agua en la sección 2545 (2041-2070)

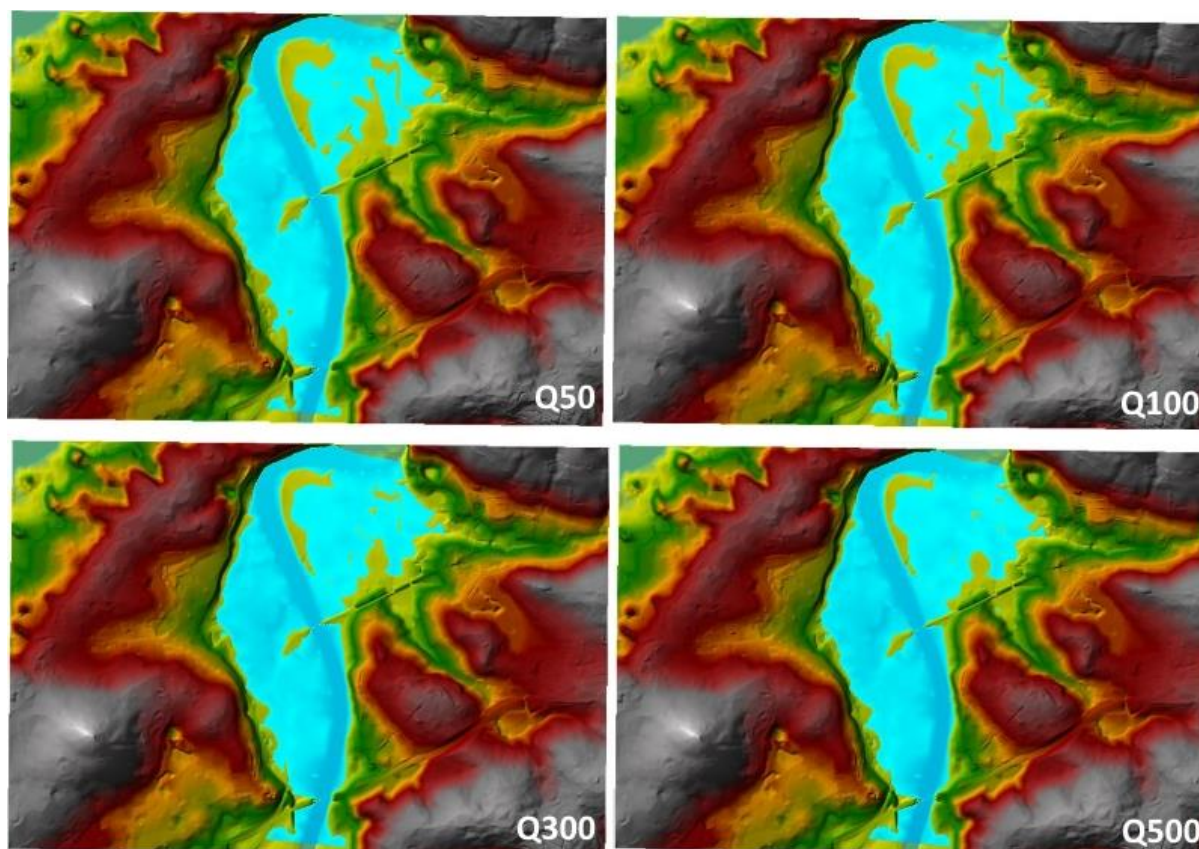


Figura 33: Zona inundada de la llanura (2041-2070)

6. CONCLUSIONES

Como se puede observar en el apartado anterior, el río Pas, a pesar de su corta longitud, maneja unos caudales de gran magnitud como resultado de eventos de precipitación extrema, muy por encima de los caudales naturales que se dan a lo largo del año. Son estas crecidas del caudal las que provocan, cada vez más frecuentemente, los serios problemas de inundación en la zona de estudio, dando lugar a las mencionadas alteraciones del servicio de la línea de ferrocarril de vía estrecha que une Santander con Oviedo.

Los picos máximos de caudal se mueven, para la situación actual, en una horquilla que va desde los 508,6 m³/s para un período de retorno de 50 años hasta los 778,1 m³/s a 300 años. En lo que respecta a la situación futura, incluyendo los potenciales efectos del cambio climático, el rango va desde los 523,1 m³/s para 50 años de período de retorno hasta los 801,7 m³/s a 300 años.

La superficie libre del agua también se eleva notablemente, como es lógico, durante las situaciones de avenida. Se ha obtenido una cota de la lámina del agua en la sección inmediatamente aguas arriba del puente de la línea de ferrocarril, para la situación actual, de 3,72 metros sobre el nivel del mar para el período de retorno de 300 años, que es el que establece como referencia la normativa del administrador ferroviario. Si incluimos el efecto del cambio climático, obtenemos para la situación futura un pequeño aumento de la cota, de apenas 0,03 metros, si consideramos el mismo punto y período de retorno, hasta los 3,75 metros sobre el nivel del mar.

Si nos movemos en dirección sur, o aguas arriba del puente del ferrocarril, encontramos la zona donde las inundaciones de la infraestructura son más graves y habituales. En esta zona, la cota de la lámina de agua a 300 años puede llegar a los 4,01 metros sobre el nivel del mar (4,04 metros en la situación futura). Considerando la zona por la que transcurre la plataforma ferroviaria, la profundidad del agua puede llegar a alcanzar el metro de altura.

Estos datos justifican, sin duda alguna, la necesidad de realizar modificaciones en la plataforma de la línea férrea, modificando principalmente la cota de la misma, hasta asegurar una protección suficiente contra las inundaciones que la afectan en la actualidad. La solución pasaría por una nueva plataforma de tipo terraplén, más elevada que la actual, con los elementos de drenaje pertinentes que permitan la circulación de los caudales máximos, o por una nueva estructura elevada mediante pilas, que eliminaría el efecto barrera que pudiera crear la solución terraplén.

Con la finalidad de permanecer en el lado de la seguridad, y dado que la diferencia entre los valores actuales y futuros -si bien nada desdeñable- no es exageradamente grande, se recomienda realizar cualquier futuro diseño incluyendo los posibles efectos que el cambio climático pueda tener en la zona de estudio.

Referencias

- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Comité de Normativa. (2020). *Norma ADIF Plataforma NAP 1-2-0.2 Climatología, Hidrología y Drenaje* (2 ed.).
- Bezanilla Rodríguez, A. (Junio de 2015). *Plan Hidrológico de la Cuenca Hidrográfica del Pas*. Obtenido de Plan Hidrológico de la Cuenca Hidrográfica del Pas: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/6953/Bezanilla%20Rodr%20EDguez,%20A..pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- Centro de Innovación del Transporte, CENIT. (2008). *Estudio del comportamiento a medio y largo plazo de las estructuras ferroviarias de balasto y placa*.
- Climate Data. (s.f.). Obtenido de Climate Data: climate-data.org
- Confederación Hidrográfica del Cantábrico. (s.f.). *Confederación Hidrográfica del Cantábrico*. Obtenido de Río Pas: <https://www.chcantabrico.es/las-cuencas-cantabricas/marco-fisico/hidrologia/rios/pas>
- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2015). *Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015*. Obtenido de Tabla de Valores de Número de Curva en Función del Código Corine Land Cover: <http://www.chebro.es:81/Plan%20Hidrologico%20Ebro%202010-2015/Memoria/7.-%20Anejos/02.-%20Inventario%20Recursos%20H%C3%ADdricos/2%20A02Ap1sb.pdf>
- Dey, S., & Merwade, V. (s.f.). *1D HEC-RAS Model Development using RAS-Mapper*. Obtenido de <https://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/rasmapper.pdf>
- Directiva Marco del Agua Cantabria. (s.f.). *Río Pas: Caracterización de la cuenca*. Recuperado el 2021, de Directiva Marco del Agua Cantabria - Río Pas: <http://dmacantabria.cantabria.es/visorWeb/pdf/RIOS/Pas.pdf>
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (s.f.). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del agua*, 2(4), 43-58.
- García de Jalón, D., & González del Tánago, M. (2001). *Fijación de regímenes ecológicos de caudales en el río Pas (Puente Viesgo)*. Madrid: E.T.S.I.M.-Departamento de Ingeniería Forestal, UPM.
- Genniuco. (s.f.). *Genniuco*. Obtenido de Genniuco: <https://www.genniuco.com/toranzo-a-vista-de-pajaro/03-alceda-ontaneda-y-río-pas/>
- Gobierno de Cantabria. (s.f.). Obtenido de Mapas Cantabria: <https://mapas.cantabria.es/>
- Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental - UC. (2006). *Plan de Investigación Integral para la Caracterización y Diagnóstico Ambiental de los Sistemas Acuáticos de Cantabria*. Obtenido de http://dmacantabria.cantabria.es/informacion/Documentos/IMPRESS_AguasContinetales.pdf
- Henríquez, C., & Azócar, G. (s.f.). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*(36), 61-74. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022006000200004
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2008). *Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>

- INECO. (2018). *Proyecto de Trazado de la Autovía A-67. Ampliación de Capacidad. Tramo: Polanco - Santander*.
- Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Obtenido de Centro Nacional de Información Geográfica: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Instituto Geológico y Minero de España. (s.f.). *Mapas IGME*. Obtenido de Mapas IGME - Portal de cartografía del IGME: <http://info.igme.es/cartografiadigital/portada/default.aspx?mensaje=true>
- López Miñano, M. (2006). *Análisis de los principales parámetros de un método hidrometeorológico para el cálculo de avenidas y aplicación a una cuenca mediterránea*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Ministerio de Fomento. (10 de Marzo de 2016). Norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. *Boletín Oficial del Estado*.
- Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. (s.f.). *Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España*. Obtenido de adaptecca.es
- Mongil Manso, J. (s.f.). Adaptación de las tablas del Número de Curva para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (isla de La Palma, España). *Boletín Geológico y Minero*, 121(2), 179-188.
- San José, R., Pérez, J., González, R., Pecci, J., Garzón, A., & Palacios, M. (2015). Impacts of the 4.5 and 8.5 RCP global climate scenarios on urban meteorology and air quality: Application to Madrid, Antwerp, Milan, Helsinki and London. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 194-195.
- Sánchez San Román, F. (s.f.). *Cálculo de la Precipitación Neta mediante el método del S.C.S.* Recuperado el 2020, de Dpto. Geología--Univ. Salamanca: https://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf
- Sánchez San Román, F. (s.f.). *Hidrograma unitario de Clark*. Obtenido de Dpto. Geología--Univ. Salamanca: https://hidrologia.usal.es/practicas/HU_Clark_EXPLICACION.pdf
- Sánchez San Román, F. (s.f.). *Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía*. Obtenido de Dpto. Geología--Univ. Salamanca: https://hidrologia.usal.es/temas/Hid_Sup_3.pdf
- Sánchez San Román, F. J. (s.f.). *Obtención del hietograma de diseño*. Obtenido de Dpto. Geología--Univ. Salamanca: https://hidrologia.usal.es/practicas/Hietog_diseño_fundamento.pdf
- Sánchez San Román, F. (s.f.). *Precipitaciones*. Obtenido de Dpto. Geología--Univ. Salamanca: <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- Santamaría Arias, J. (1999). *Máximas llluvias diarias en España Peninsular*. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.
- U.S. Army Corps of Engineers. (s.f.). *HEC-HMS Tutorials and Guides*. Obtenido de Estimating Time of Concentration & Storage Coefficient: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsguides/estimating-clark-unit-hydrograph-parameters/estimating-time-of-concentration-storage-coefficient>
- U.S. Army Corps of Engineers. (s.f.). *HEC-RAS Mapper User's Manual*. Obtenido de: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rmum/latest/geometry-data>
- Villegas, P. (9 de Enero de 2017). *Método del Número de Curva del SCS*. Obtenido de Agua y SIG: <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/#:~:text=El%20Numero%20de%20Curva%20toma,100%20representan%20condiciones%20de%20impermeabilidad.>

A. TABLA DE CUANTILES Y_t

C_v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 39: Cuantiles Y_t según período de retorno y valor de C_v (Santamaría Arias, 1999)

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 50 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	112,1	38,6	150,8
01dic.2000	4:00	156,6	38,6	195,2
01dic.2000	6:00	156,9	38,7	195,5
01dic.2000	8:00	156,3	40,0	196,2
01dic.2000	10:00	173,2	44,0	217,3
01dic.2000	12:00	203,3	50,8	254,1
01dic.2000	14:00	249,6	59,7	309,3
01dic.2000	16:00	303,5	69,1	372,6
01dic.2000	18:00	356,1	77,2	433,3
01dic.2000	20:00	397,1	82,6	479,7
01dic.2000	22:00	419,5	84,3	503,8
02dic.2000	0:00	421,5	83,1	504,6
02dic.2000	2:00	410,4	80,6	491,1
02dic.2000	4:00	394,4	77,7	472,1
02dic.2000	6:00	377,1	74,8	451,9
02dic.2000	8:00	360,5	72,1	432,6
02dic.2000	10:00	345,2	69,6	414,9
02dic.2000	12:00	331,1	67,3	398,4
02dic.2000	14:00	318,0	65,2	383,2
02dic.2000	16:00	305,9	63,2	369,1
02dic.2000	18:00	294,6	61,4	356,0
02dic.2000	20:00	284,2	59,7	344,0
02dic.2000	22:00	274,6	58,2	332,8
03dic.2000	0:00	265,7	56,7	322,4
03dic.2000	2:00	257,5	55,4	312,8
03dic.2000	4:00	249,8	54,1	304,0
03dic.2000	6:00	242,8	53,0	295,7
03dic.2000	8:00	236,2	51,9	288,1
03dic.2000	10:00	230,2	50,9	281,1
03dic.2000	12:00	224,6	50,0	274,6
03dic.2000	14:00	219,4	49,2	268,5
03dic.2000	16:00	214,6	48,4	263,0
03dic.2000	18:00	210,1	47,7	257,8
03dic.2000	20:00	206,0	47,0	253,0
03dic.2000	22:00	202,2	46,4	248,6
04dic.2000	0:00	198,6	45,8	244,4
04dic.2000	2:00	195,4	45,3	240,6
04dic.2000	4:00	192,3	44,8	237,1

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 50 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
04dic.2000	6:00	189,5	44,3	233,9
04dic.2000	8:00	186,9	43,9	230,8
04dic.2000	10:00	184,5	43,5	228,1
04dic.2000	12:00	182,3	43,2	225,5
04dic.2000	14:00	180,3	42,8	223,1
04dic.2000	16:00	178,4	42,5	220,9
04dic.2000	18:00	176,6	42,2	218,8
04dic.2000	20:00	175,0	42,0	216,9
04dic.2000	22:00	173,4	41,7	215,1
05dic.2000	0:00	172,0	41,5	213,5
05dic.2000	2:00	170,7	41,3	212,0
05dic.2000	4:00	169,5	41,1	210,6
05dic.2000	6:00	168,4	40,9	209,3
05dic.2000	8:00	167,4	40,7	208,1
05dic.2000	10:00	166,4	40,6	207,0
05dic.2000	12:00	165,6	40,4	206,0
05dic.2000	14:00	164,8	40,3	205,0
05dic.2000	16:00	164,0	40,2	204,2
05dic.2000	18:00	163,3	40,1	203,4
05dic.2000	20:00	162,6	40,0	202,6
05dic.2000	22:00	162,0	39,9	201,9
06dic.2000	0:00	161,5	39,8	201,3
06dic.2000	2:00	161,0	39,7	200,7
06dic.2000	4:00	160,5	39,6	200,1
06dic.2000	6:00	160,1	39,5	199,6
06dic.2000	8:00	159,5	39,4	198,9
06dic.2000	10:00	159,1	39,4	198,5
06dic.2000	12:00	158,8	39,3	198,1
06dic.2000	14:00	158,5	39,3	197,7

Tabla 40: Serie de caudales a 50 años en Mogro actual

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 100 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	113,2	38,6	151,8
01dic.2000	4:00	157,7	38,6	196,3
01dic.2000	6:00	156,6	38,7	195,3
01dic.2000	8:00	157,4	40,4	197,8
01dic.2000	10:00	178,8	45,4	224,3
01dic.2000	12:00	217,2	53,8	271,0
01dic.2000	14:00	275,0	64,7	339,7
01dic.2000	16:00	341,5	76,2	417,7
01dic.2000	18:00	405,8	86,0	491,8
01dic.2000	20:00	455,0	92,5	547,6
01dic.2000	22:00	481,0	94,5	575,5
02dic.2000	0:00	482,1	92,9	575,0
02dic.2000	2:00	467,8	89,8	557,6
02dic.2000	4:00	447,9	86,3	534,1
02dic.2000	6:00	426,6	82,7	509,4
02dic.2000	8:00	406,3	79,5	485,8
02dic.2000	10:00	387,7	76,4	464,1
02dic.2000	12:00	370,4	73,6	444,0
02dic.2000	14:00	354,4	71,0	425,4
02dic.2000	16:00	339,5	68,6	408,2
02dic.2000	18:00	325,8	66,4	392,2
02dic.2000	20:00	313,1	64,4	377,5
02dic.2000	22:00	301,4	62,4	363,8
03dic.2000	0:00	290,5	60,7	351,1
03dic.2000	2:00	280,4	59,0	339,4
03dic.2000	4:00	271,0	57,5	328,6
03dic.2000	6:00	262,4	56,1	318,5
03dic.2000	8:00	254,4	54,8	309,2
03dic.2000	10:00	247,0	53,6	300,6
03dic.2000	12:00	240,1	52,5	292,7
03dic.2000	14:00	233,8	51,5	285,3
03dic.2000	16:00	227,9	50,5	278,4
03dic.2000	18:00	222,5	49,7	272,1
03dic.2000	20:00	217,4	48,8	266,3
03dic.2000	22:00	212,8	48,1	260,8
04dic.2000	0:00	208,5	47,4	255,8
04dic.2000	2:00	204,5	46,7	251,2
04dic.2000	4:00	200,8	46,1	246,9
04dic.2000	6:00	197,3	45,6	242,9
04dic.2000	8:00	194,2	45,1	239,2
04dic.2000	10:00	191,2	44,6	235,8

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 100 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
04dic.2000	12:00	188,5	44,1	232,6
04dic.2000	14:00	186,0	43,7	229,7
04dic.2000	16:00	183,6	43,4	227,0
04dic.2000	18:00	181,5	43,0	224,5
04dic.2000	20:00	179,5	42,7	222,2
04dic.2000	22:00	177,6	42,4	220,0
05dic.2000	0:00	175,9	42,1	218,0
05dic.2000	2:00	174,3	41,8	216,2
05dic.2000	4:00	172,9	41,6	214,5
05dic.2000	6:00	171,5	41,4	212,9
05dic.2000	8:00	170,3	41,2	211,4
05dic.2000	10:00	169,1	41,0	210,1
05dic.2000	12:00	168,0	40,8	208,8
05dic.2000	14:00	167,0	40,7	207,7
05dic.2000	16:00	166,1	40,5	206,6
05dic.2000	18:00	165,2	40,4	205,6
05dic.2000	20:00	164,4	40,2	204,7
05dic.2000	22:00	163,7	40,1	203,8
06dic.2000	0:00	163,0	40,0	203,0
06dic.2000	2:00	162,4	39,9	202,3
06dic.2000	4:00	161,8	39,8	201,6
06dic.2000	6:00	161,3	39,7	201,0
06dic.2000	8:00	160,8	39,6	200,4
06dic.2000	10:00	160,3	39,6	199,9
06dic.2000	12:00	159,9	39,5	199,4
06dic.2000	14:00	159,5	39,4	198,9

Tabla 41: Serie de caudales a 100 años en Mogro actual

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 300 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	114,7	38,6	153,3
01dic.2000	4:00	159,0	38,6	197,7
01dic.2000	6:00	156,3	38,7	195,0
01dic.2000	8:00	159,7	41,0	200,7
01dic.2000	10:00	188,9	47,9	236,8
01dic.2000	12:00	241,6	59,0	300,7
01dic.2000	14:00	319,1	73,3	392,4
01dic.2000	16:00	407,0	88,3	495,3
01dic.2000	18:00	490,6	101,0	591,6
01dic.2000	20:00	553,3	109,2	662,5
01dic.2000	22:00	584,8	111,5	696,3
02dic.2000	0:00	583,9	109,3	693,2
02dic.2000	2:00	563,9	105,3	669,2
02dic.2000	4:00	537,5	100,6	638,1
02dic.2000	6:00	509,6	96,0	605,6
02dic.2000	8:00	483,2	91,7	574,9
02dic.2000	10:00	458,8	87,8	546,6
02dic.2000	12:00	436,2	84,2	520,4
02dic.2000	14:00	415,3	80,8	496,1
02dic.2000	16:00	396,0	77,7	473,6
02dic.2000	18:00	378,1	74,8	452,8
02dic.2000	20:00	361,5	72,1	433,6
02dic.2000	22:00	346,1	69,6	415,7
03dic.2000	0:00	331,9	67,3	399,2
03dic.2000	2:00	318,8	65,2	384,0
03dic.2000	4:00	306,6	63,2	369,8
03dic.2000	6:00	295,3	61,4	356,7
03dic.2000	8:00	284,9	59,7	344,6
03dic.2000	10:00	275,2	58,1	333,3
03dic.2000	12:00	266,3	56,7	322,9
03dic.2000	14:00	258,0	55,4	313,3
03dic.2000	16:00	250,3	54,1	304,4
03dic.2000	18:00	243,2	53,0	296,2
03dic.2000	20:00	236,6	51,9	288,5
03dic.2000	22:00	230,5	50,9	281,5
04dic.2000	0:00	224,9	50,0	274,9
04dic.2000	2:00	219,7	49,2	268,8
04dic.2000	4:00	214,8	48,4	263,2
04dic.2000	6:00	210,4	47,7	258,0
04dic.2000	8:00	206,2	47,0	253,2
04dic.2000	10:00	202,4	46,4	248,8

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 300 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
04dic.2000	12:00	198,9	45,8	244,7
04dic.2000	14:00	195,6	45,3	240,8
04dic.2000	16:00	192,5	44,8	237,3
04dic.2000	18:00	189,7	44,3	234,0
04dic.2000	20:00	187,1	43,9	231,0
04dic.2000	22:00	184,7	43,5	228,2
05dic.2000	0:00	182,5	43,1	225,6
05dic.2000	2:00	180,4	42,8	223,2
05dic.2000	4:00	178,5	42,5	221,0
05dic.2000	6:00	176,7	42,2	218,9
05dic.2000	8:00	175,1	42,0	217,0
05dic.2000	10:00	173,5	41,7	215,2
05dic.2000	12:00	172,1	41,5	213,6
05dic.2000	14:00	170,8	41,3	212,1
05dic.2000	16:00	169,6	41,1	210,7
05dic.2000	18:00	168,5	40,9	209,4
05dic.2000	20:00	167,5	40,7	208,2
05dic.2000	22:00	166,5	40,6	207,1
06dic.2000	0:00	165,6	40,4	206,0
06dic.2000	2:00	164,8	40,3	205,1
06dic.2000	4:00	164,0	40,2	204,2
06dic.2000	6:00	163,3	40,1	203,4
06dic.2000	8:00	162,7	40,0	202,6
06dic.2000	10:00	162,1	39,9	201,9
06dic.2000	12:00	161,5	39,8	201,3
06dic.2000	14:00	161,0	39,7	200,7

Tabla 42: Serie de caudales a 300 años en Mogro actual

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 500 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	115,5	38,6	154,1
01dic.2000	4:00	159,7	38,6	198,3
01dic.2000	6:00	156,1	38,8	194,9
01dic.2000	8:00	161,3	41,5	202,8
01dic.2000	10:00	195,7	49,5	245,2
01dic.2000	12:00	257,7	62,4	320,0
01dic.2000	14:00	347,7	78,8	426,5
01dic.2000	16:00	449,0	96,0	545,0
01dic.2000	18:00	544,7	110,4	655,1
01dic.2000	20:00	615,6	119,8	735,4
01dic.2000	22:00	650,3	122,3	772,6
02dic.2000	0:00	648,0	119,6	767,6
02dic.2000	2:00	624,4	114,9	739,3
02dic.2000	4:00	593,8	109,6	703,4
02dic.2000	6:00	561,8	104,3	666,2
02dic.2000	8:00	531,5	99,5	630,9
02dic.2000	10:00	503,5	94,9	598,5
02dic.2000	12:00	477,6	90,8	568,4
02dic.2000	14:00	453,7	86,9	540,6
02dic.2000	16:00	431,5	83,3	514,8
02dic.2000	18:00	410,9	80,0	491,0
02dic.2000	20:00	391,9	76,9	468,9
02dic.2000	22:00	374,3	74,1	448,4
03dic.2000	0:00	358,0	71,5	429,5
03dic.2000	2:00	342,9	69,0	412,0
03dic.2000	4:00	328,9	66,8	395,7
03dic.2000	6:00	316,0	64,7	380,7
03dic.2000	8:00	304,0	62,8	366,8
03dic.2000	10:00	292,9	61,0	353,9
03dic.2000	12:00	282,7	59,3	342,0
03dic.2000	14:00	273,2	57,8	331,0
03dic.2000	16:00	264,4	56,4	320,7
03dic.2000	18:00	256,2	55,0	311,3
03dic.2000	20:00	248,7	53,8	302,5
03dic.2000	22:00	241,7	52,7	294,4
04dic.2000	0:00	235,2	51,7	286,9
04dic.2000	2:00	229,3	50,7	279,9
04dic.2000	4:00	223,7	49,8	273,5
04dic.2000	6:00	218,6	49,0	267,6
04dic.2000	8:00	213,8	48,2	262,0
04dic.2000	10:00	209,4	47,5	256,9

B. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (ACTUAL)

Caudal actual para período de retorno de 500 años				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
04dic.2000	12:00	205,4	46,8	252,2
04dic.2000	14:00	201,6	46,2	247,8
04dic.2000	16:00	198,1	45,7	243,8
04dic.2000	18:00	194,9	45,1	240,0
04dic.2000	20:00	191,9	44,7	236,5
04dic.2000	22:00	189,1	44,2	233,3
05dic.2000	0:00	186,6	43,8	230,4
05dic.2000	2:00	184,2	43,4	227,6
05dic.2000	4:00	182,0	43,1	225,0
05dic.2000	6:00	179,9	42,7	222,7
05dic.2000	8:00	178,1	42,4	220,5
05dic.2000	10:00	176,3	42,2	218,5
05dic.2000	12:00	174,7	41,9	216,6
05dic.2000	14:00	173,2	41,6	214,9
05dic.2000	16:00	171,8	41,4	213,3
05dic.2000	18:00	170,5	41,2	211,8
05dic.2000	20:00	169,4	41,0	210,4
05dic.2000	22:00	168,3	40,9	209,1
06dic.2000	0:00	167,2	40,7	207,9
06dic.2000	2:00	166,3	40,5	206,8
06dic.2000	4:00	165,4	40,4	205,8
06dic.2000	6:00	164,6	40,3	204,9
06dic.2000	8:00	163,9	40,1	204,0
06dic.2000	10:00	163,2	40,0	203,2
06dic.2000	12:00	162,5	39,9	202,5
06dic.2000	14:00	162,0	39,8	201,8

Tabla 43: Serie de caudales a 500 años en Mogro (actual)

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

z				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m ³ /s)	Q _{S_5} (m ³ /s)	Q _{TOTAL} (m ³ /s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	112,1	38,6	150,8
01dic.2000	4:00	156,6	38,6	195,2
01dic.2000	6:00	156,9	38,7	195,5
01dic.2000	8:00	156,5	40,0	196,5
01dic.2000	10:00	174,2	44,3	218,5
01dic.2000	12:00	205,9	51,4	257,3
01dic.2000	14:00	254,4	60,7	315,1
01dic.2000	16:00	310,8	70,5	381,3
01dic.2000	18:00	365,8	79,0	444,8
01dic.2000	20:00	408,5	84,6	493,1
01dic.2000	22:00	431,8	86,4	518,1
02dic.2000	0:00	433,8	85,1	518,8
02dic.2000	2:00	422,1	82,5	504,6
02dic.2000	4:00	405,3	79,4	484,7
02dic.2000	6:00	387,2	76,4	463,6
02dic.2000	8:00	369,8	73,6	443,4
02dic.2000	10:00	353,9	71,0	424,9
02dic.2000	12:00	339,1	68,6	407,7
02dic.2000	14:00	325,4	66,4	391,8
02dic.2000	16:00	312,7	64,3	377,0
02dic.2000	18:00	301,0	62,4	363,4
02dic.2000	20:00	290,1	60,7	350,8
02dic.2000	22:00	280,1	59,0	339,1
03dic.2000	0:00	270,8	57,5	328,3
03dic.2000	2:00	262,1	56,1	318,2
03dic.2000	4:00	254,2	54,8	309,0
03dic.2000	6:00	246,8	53,6	300,4
03dic.2000	8:00	239,9	52,5	292,4
03dic.2000	10:00	233,6	51,5	285,1
03dic.2000	12:00	227,7	50,5	278,3
03dic.2000	14:00	222,3	49,6	271,9
03dic.2000	16:00	217,3	48,8	266,1
03dic.2000	18:00	212,6	48,1	260,7
03dic.2000	20:00	208,3	47,4	255,7
03dic.2000	22:00	204,3	46,7	251,1
04dic.2000	0:00	200,6	46,1	246,8
04dic.2000	2:00	197,2	45,6	242,8
04dic.2000	4:00	194,1	45,1	239,1

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

z				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m ³ /s)	Q _{S_5} (m ³ /s)	Q _{TOTAL} (m ³ /s)
04dic.2000	6:00	191,1	44,6	235,7
04dic.2000	8:00	188,4	44,1	232,6
04dic.2000	10:00	185,9	43,7	229,6
04dic.2000	12:00	183,6	43,4	226,9
04dic.2000	14:00	181,4	43,0	224,4
04dic.2000	16:00	179,4	42,7	222,1
04dic.2000	18:00	177,6	42,4	220,0
04dic.2000	20:00	175,9	42,1	218,0
04dic.2000	22:00	174,3	41,8	216,1
05dic.2000	0:00	172,8	41,6	214,4
05dic.2000	2:00	171,5	41,4	212,9
05dic.2000	4:00	170,2	41,2	211,4
05dic.2000	6:00	169,1	41,0	210,1
05dic.2000	8:00	168,0	40,8	208,8
05dic.2000	10:00	167,0	40,7	207,6
05dic.2000	12:00	166,1	40,5	206,6
05dic.2000	14:00	165,2	40,4	205,6
05dic.2000	16:00	164,4	40,2	204,7
05dic.2000	18:00	163,7	40,1	203,8
05dic.2000	20:00	163,0	40,0	203,0
05dic.2000	22:00	162,4	39,9	202,3
06dic.2000	0:00	161,8	39,8	201,6
06dic.2000	2:00	161,3	39,7	201,0
06dic.2000	4:00	160,8	39,6	200,4
06dic.2000	6:00	160,3	39,6	199,9
06dic.2000	8:00	159,9	39,5	199,4
06dic.2000	10:00	159,5	39,4	198,9
06dic.2000	12:00	159,1	39,4	198,5
06dic.2000	14:00	158,8	39,3	198,1

Tabla 44: Serie de caudales a 50 años en Mogro (2041-2070)

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

Caudal para período de retorno de 100 años (2041-2070)				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m ³ /s)	Q _{S_5} (m ³ /s)	Q _{TOTAL} (m ³ /s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	113,2	38,6	151,8
01dic.2000	4:00	157,7	38,6	196,3
01dic.2000	6:00	156,6	38,7	195,3
01dic.2000	8:00	157,7	40,4	198,1
01dic.2000	10:00	180,1	45,8	225,8
01dic.2000	12:00	220,3	54,6	274,9
01dic.2000	14:00	280,8	65,9	346,7
01dic.2000	16:00	350,3	77,9	428,2
01dic.2000	18:00	417,3	88,1	505,5
01dic.2000	20:00	468,6	94,9	563,5
01dic.2000	22:00	495,5	96,9	592,4
02dic.2000	0:00	496,5	95,2	591,7
02dic.2000	2:00	481,4	92,0	573,5
02dic.2000	4:00	460,6	88,3	548,9
02dic.2000	6:00	438,4	84,6	523,1
02dic.2000	8:00	417,3	81,2	498,5
02dic.2000	10:00	397,8	78,0	475,9
02dic.2000	12:00	379,8	75,1	454,9
02dic.2000	14:00	363,1	72,4	435,5
02dic.2000	16:00	347,6	69,9	417,5
02dic.2000	18:00	333,3	67,6	400,9
02dic.2000	20:00	320,0	65,4	385,5
02dic.2000	22:00	307,7	63,5	371,2
03dic.2000	0:00	296,4	61,6	358,0
03dic.2000	2:00	285,9	59,9	345,8
03dic.2000	4:00	276,1	58,3	334,4
03dic.2000	6:00	267,1	56,9	324,0
03dic.2000	8:00	258,7	55,5	314,3
03dic.2000	10:00	251,0	54,3	305,3
03dic.2000	12:00	243,9	53,1	297,0
03dic.2000	14:00	237,2	52,0	289,3
03dic.2000	16:00	231,1	51,0	282,1
03dic.2000	18:00	225,4	50,1	275,5
03dic.2000	20:00	220,2	49,3	269,4
03dic.2000	22:00	215,3	48,5	263,8
04dic.2000	0:00	210,8	47,7	258,5
04dic.2000	2:00	206,6	47,1	253,7
04dic.2000	4:00	202,8	46,4	249,2
04dic.2000	6:00	199,2	45,9	245,1
04dic.2000	8:00	195,9	45,3	241,2

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

Caudal para período de retorno de 100 años (2041-2070)				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m ³ /s)	Q _{S_5} (m ³ /s)	Q _{TOTAL} (m ³ /s)
04dic.2000	10:00	192,8	44,8	237,6
04dic.2000	12:00	190,0	44,4	234,3
04dic.2000	14:00	187,3	44,0	231,3
04dic.2000	16:00	184,9	43,6	228,5
04dic.2000	18:00	182,7	43,2	225,9
04dic.2000	20:00	180,6	42,9	223,4
04dic.2000	22:00	178,6	42,5	221,2
05dic.2000	0:00	176,9	42,3	219,1
05dic.2000	2:00	175,2	42,0	217,2
05dic.2000	4:00	173,7	41,7	215,4
05dic.2000	6:00	172,3	41,5	213,8
05dic.2000	8:00	170,9	41,3	212,2
05dic.2000	10:00	169,7	41,1	210,8
05dic.2000	12:00	168,6	40,9	209,5
05dic.2000	14:00	167,6	40,7	208,3
05dic.2000	16:00	166,6	40,6	207,2
05dic.2000	18:00	165,7	40,4	206,1
05dic.2000	20:00	164,9	40,3	205,2
05dic.2000	22:00	164,1	40,2	204,3
06dic.2000	0:00	163,4	40,1	203,5
06dic.2000	2:00	162,7	40,0	202,7
06dic.2000	4:00	162,1	39,9	202,0
06dic.2000	6:00	161,6	39,8	201,4
06dic.2000	8:00	161,1	39,7	200,7
06dic.2000	10:00	160,6	39,6	200,2
06dic.2000	12:00	160,1	39,5	199,7
06dic.2000	14:00	159,7	39,5	199,2

Tabla 45: Serie de caudales a 100 años en Mogro (2041-2070)

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

Caudal para período de retorno de 300 años (2041-2070)				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	114,7	38,6	153,3
01dic.2000	4:00	159,0	38,6	197,7
01dic.2000	6:00	156,3	38,7	195,1
01dic.2000	8:00	160,0	41,2	201,2
01dic.2000	10:00	190,6	48,3	238,9
01dic.2000	12:00	245,7	60,0	305,7
01dic.2000	14:00	326,5	74,9	401,4
01dic.2000	16:00	418,1	90,4	508,6
01dic.2000	18:00	505,1	103,6	608,7
01dic.2000	20:00	570,2	112,1	682,4
01dic.2000	22:00	602,8	114,5	717,3
02dic.2000	0:00	601,7	112,2	713,9
02dic.2000	2:00	580,8	107,9	688,7
02dic.2000	4:00	553,2	103,1	656,3
02dic.2000	6:00	524,2	98,3	622,5
02dic.2000	8:00	496,7	93,9	590,5
02dic.2000	10:00	471,3	89,8	561,1
02dic.2000	12:00	447,8	86,0	533,8
02dic.2000	14:00	426,1	82,5	508,5
02dic.2000	16:00	405,9	79,2	485,1
02dic.2000	18:00	387,3	76,2	463,5
02dic.2000	20:00	370,0	73,4	443,4
02dic.2000	22:00	354,0	70,8	424,9
03dic.2000	0:00	339,2	68,5	407,7
03dic.2000	2:00	325,5	66,2	391,8
03dic.2000	4:00	312,8	64,2	377,0
03dic.2000	6:00	301,1	62,3	363,4
03dic.2000	8:00	290,2	60,5	350,8
03dic.2000	10:00	280,2	58,9	339,1
03dic.2000	12:00	270,8	57,4	328,3
03dic.2000	14:00	262,2	56,0	318,2
03dic.2000	16:00	254,2	54,7	309,0
03dic.2000	18:00	246,8	53,5	300,4
03dic.2000	20:00	240,0	52,4	292,4
03dic.2000	22:00	233,7	51,4	285,1
04dic.2000	0:00	227,8	50,5	278,3
04dic.2000	2:00	222,4	49,6	271,9
04dic.2000	4:00	217,3	48,8	266,1
04dic.2000	6:00	212,7	48,0	260,7
04dic.2000	8:00	208,4	47,3	255,7
04dic.2000	10:00	204,4	46,7	251,1

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

Caudal para período de retorno de 300 años (2041-2070)				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
04dic.2000	12:00	200,7	46,1	246,8
04dic.2000	14:00	197,3	45,5	242,8
04dic.2000	16:00	194,1	45,0	239,1
04dic.2000	18:00	191,2	44,5	235,7
04dic.2000	20:00	188,4	44,1	232,5
04dic.2000	22:00	185,9	43,7	229,6
05dic.2000	0:00	183,6	43,3	226,9
05dic.2000	2:00	181,4	43,0	224,4
05dic.2000	4:00	179,5	42,7	222,1
05dic.2000	6:00	177,6	42,4	220,0
05dic.2000	8:00	175,9	42,1	218,0
05dic.2000	10:00	174,3	41,8	216,1
05dic.2000	12:00	172,8	41,6	214,4
05dic.2000	14:00	171,5	41,4	212,9
05dic.2000	16:00	170,2	41,2	211,4
05dic.2000	18:00	169,1	41,0	210,1
05dic.2000	20:00	168,0	40,8	208,8
05dic.2000	22:00	167,0	40,6	207,6
06dic.2000	0:00	166,1	40,5	206,6
06dic.2000	2:00	165,2	40,4	205,6
06dic.2000	4:00	164,4	40,2	204,7
06dic.2000	6:00	163,7	40,1	203,8
06dic.2000	8:00	163,0	40,0	203,0
06dic.2000	10:00	162,4	39,9	202,3
06dic.2000	12:00	161,8	39,8	201,6
06dic.2000	14:00	161,3	39,7	201,0

Tabla 46: Serie de caudales a 300 años en Mogro (2041-2070)

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

Caudal para período de retorno de 500 años (2041-2070)				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m³/s)	Q _{S_5} (m³/s)	Q _{TOTAL} (m³/s)
01dic.2000	0:00	82,9	20,7	103,6
01dic.2000	2:00	115,5	38,6	154,1
01dic.2000	4:00	159,7	38,6	198,3
01dic.2000	6:00	156,1	38,8	194,9
01dic.2000	8:00	161,7	41,7	203,4
01dic.2000	10:00	197,6	50,0	247,6
01dic.2000	12:00	262,4	63,4	325,8
01dic.2000	14:00	356,1	80,6	436,7
01dic.2000	16:00	461,7	98,4	560,0
01dic.2000	18:00	561,1	113,4	674,4
01dic.2000	20:00	634,7	123,0	757,7
01dic.2000	22:00	670,5	125,6	796,1
02dic.2000	0:00	667,9	122,8	790,7
02dic.2000	2:00	643,2	117,9	761,2
02dic.2000	4:00	611,4	112,4	723,8
02dic.2000	6:00	578,1	106,9	685,0
02dic.2000	8:00	546,5	101,8	648,4
02dic.2000	10:00	517,5	97,2	614,7
02dic.2000	12:00	490,6	92,8	583,4
02dic.2000	14:00	465,6	88,8	554,4
02dic.2000	16:00	442,6	85,1	527,6
02dic.2000	18:00	421,2	81,6	502,8
02dic.2000	20:00	401,4	78,4	479,9
02dic.2000	22:00	383,1	75,5	458,6
03dic.2000	0:00	366,2	72,8	438,9
03dic.2000	2:00	350,5	70,2	420,7
03dic.2000	4:00	335,9	67,9	403,8
03dic.2000	6:00	322,5	65,7	388,2
03dic.2000	8:00	310,0	63,7	373,7
03dic.2000	10:00	298,5	61,8	360,3
03dic.2000	12:00	287,8	60,1	347,9
03dic.2000	14:00	277,9	58,5	336,4
03dic.2000	16:00	268,8	57,1	325,8
03dic.2000	18:00	260,3	55,7	316,0
03dic.2000	20:00	252,5	54,4	306,9
03dic.2000	22:00	245,2	53,3	298,4
04dic.2000	0:00	238,5	52,2	290,6
04dic.2000	2:00	232,2	51,2	283,4
04dic.2000	4:00	226,5	50,2	276,7
04dic.2000	6:00	221,1	49,4	270,5
04dic.2000	8:00	216,2	48,6	264,8
04dic.2000	10:00	211,6	47,8	259,5

C. SERIES TEMPORALES DE CAUDALES EN MOGRO (FUTURO)

Caudal para período de retorno de 500 años (2041-2070)				
Fecha	Hora	Q _{R_1} (m ³ /s)	Q _{S_5} (m ³ /s)	Q _{TOTAL} (m ³ /s)
04dic.2000	12:00	207,4	47,2	254,6
04dic.2000	14:00	203,5	46,5	250,0
04dic.2000	16:00	199,8	45,9	245,8
04dic.2000	18:00	196,5	45,4	241,9
04dic.2000	20:00	193,4	44,9	238,3
04dic.2000	22:00	190,5	44,4	234,9
05dic.2000	0:00	187,8	44,0	231,8
05dic.2000	2:00	185,4	43,6	229,0
05dic.2000	4:00	183,1	43,2	226,3
05dic.2000	6:00	181,0	42,9	223,9
05dic.2000	8:00	179,0	42,6	221,6
05dic.2000	10:00	177,2	42,3	219,5
05dic.2000	12:00	175,5	42,0	217,5
05dic.2000	14:00	174,0	41,8	215,7
05dic.2000	16:00	172,5	41,5	214,1
05dic.2000	18:00	171,2	41,3	212,5
05dic.2000	20:00	170,0	41,1	211,1
05dic.2000	22:00	168,8	40,9	209,7
06dic.2000	0:00	167,8	40,8	208,5
06dic.2000	2:00	166,8	40,6	207,4
06dic.2000	4:00	165,9	40,5	206,3
06dic.2000	6:00	165,0	40,3	205,4
06dic.2000	8:00	164,3	40,2	204,5
06dic.2000	10:00	163,5	40,1	203,6
06dic.2000	12:00	162,9	40,0	202,8
06dic.2000	14:00	162,3	39,9	202,1

Tabla 47: Serie de caudales a 500 años en Mogro (2041-2070)

D. PARÁMETROS DE LA SECCIÓN 2375

Parámetros de la sección inmediatamente aguas arriba del puente de la línea de ferrocarril (2375)											
Estac.	Perfil	Q Total (m³/s)	Elevación mín. del canal (m)	Elevación sup. libre (m)	Calado crítico (m)	Elevación línea de energía (m)	Pendiente línea de energía (m/m)	Veloc. flujo (m/s)	Área flujo (m²)	Anchura máxima (m)	Froude # Chl
2375	50 años actual	508,6	-0,03	3,38	1,99	3,43	0,000486	1,23	693,89	396,79	0,21
2375	100 años act	580,3	-0,03	3,51	2,08	3,57	0,000526	1,31	746,00	407,95	0,22
2375	300 años act	701,0	-0,03	3,72	2,29	3,78	0,000580	1,43	831,33	421,19	0,24
2375	500 años act	777,2	-0,03	3,83	2,37	3,90	0,000616	1,50	879,35	428,59	0,25
2375	50 años futuro	523,1	-0,03	3,41	2,01	3,46	0,000495	1,24	704,54	398,59	0,22
2375	100 años fut	597,3	-0,03	3,54	2,16	3,60	0,000535	1,33	757,72	409,54	0,23
2375	300 años fut	722,1	-0,03	3,75	2,32	3,82	0,000590	1,45	844,51	423,04	0,24
2375	500 años fut	800,8	-0,03	3,86	2,40	3,94	0,000629	1,53	892,82	431,35	0,25

Tabla 48: Parámetros de la sección 2375 (aguas arriba del puente del ferrocarril)

Estac.	Perfil	Q Total (m³/s)	Q izq (m³/s)	Q canal (m³/s)	Q dcha (m³/s)
2375	50 años actual	508,6	209,86	295,91	2,83
2375	100 años act	580,3	248,44	327,85	4,02
2375	300 años act	701,0	314,94	379,04	7,02
2375	500 años act	777,2	356,82	411,08	9,29
2375	50 años futuro	523,1	217,58	302,45	3,07
2375	100 años fut	597,3	257,61	335,29	4,40
2375	300 años fut	722,1	326,49	387,99	7,62
2375	500 años fut	800,8	369,62	421,20	9,98

Tabla 49: Distribución del caudal en la sección 2375

Estac.	Perfil	Área Total (m ²)	Área izq (m ²)	Área canal (m ²)	Área dcha (m ²)
2375	50 años actual	693,89	440,14	241,03	12,72
2375	100 años act	746,00	478,97	250,4	16,64
2375	300 años act	831,33	542,17	265,32	23,84
2375	500 años act	879,35	577,64	273,5	28,2
2375	50 años futuro	704,54	448,12	242,97	13,45
2375	100 años fut	757,72	487,65	252,47	17,59
2375	300 años fut	844,51	551,9	267,58	25,03
2375	500 años fut	892,82	587,6	275,77	29,45

Tabla 50: Distribución de área de flujo en la sección 2375

Estac.	Perfil	Velocidad flujo izq (m/s)	Velocidad flujo canal (m/s)	Velocidad flujo dcha (m/s)
2375	50 años actual	0,48	1,23	0,22
2375	100 años act	0,52	1,31	0,24
2375	300 años act	0,58	1,43	0,29
2375	500 años act	0,62	1,50	0,33
2375	50 años futuro	0,49	1,24	0,23
2375	100 años fut	0,53	1,33	0,25
2375	300 años fut	0,59	1,45	0,30
2375	500 años fut	0,63	1,53	0,34

Tabla 51: Distribución de velocidad de flujo en la sección 2375

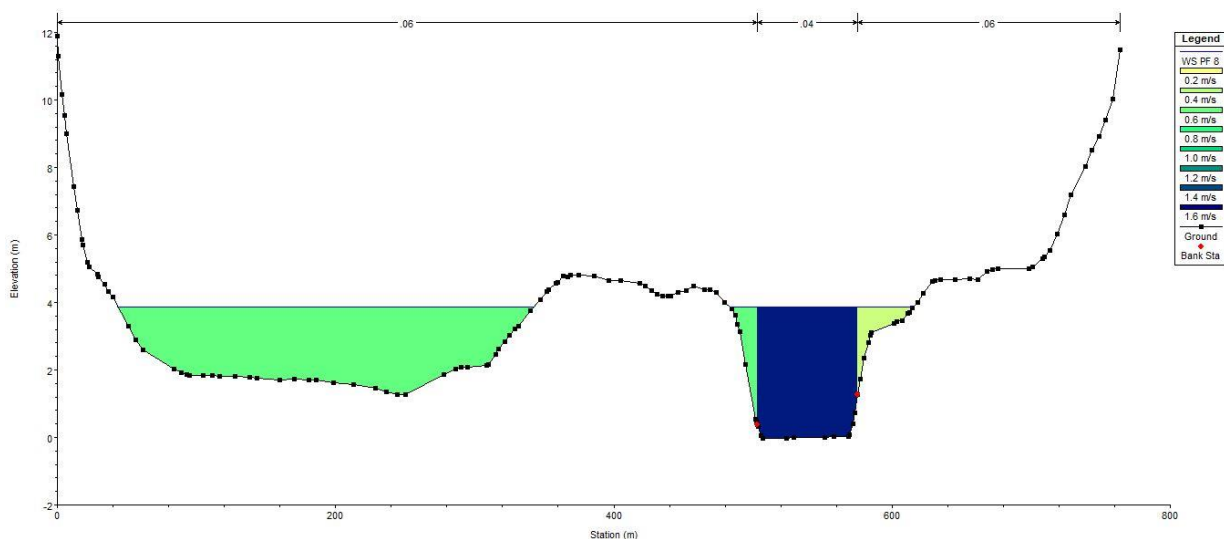


Figura 34: Distribución de velocidades (sección 2375, T=500 años, 2041-2070)